

LA RICERCA DEI PIANETI EXTRASOLARI

In un convegno, tenutosi nell'anno 1961 presso il National Radio Astronomy Observatory a Green Bank, West Virginia, USA, dedicato alla possibile esistenza di esseri extraterrestri dotati di intelligenza (ETI), convegno dove erano presenti, fra gli altri, Frank Drake, Carl Sagan e l'italiano Giuseppe Cocconi, si giunse alla conclusione che valeva la pena di cercare di stabilire un contatto (progetto SETI), sulla base di diverse considerazioni sintetizzate in una formula, nota come formula di Drake:

$$N = R \cdot F_P \cdot N_T \cdot F_V \cdot F_I \cdot F_C \cdot D$$

dove

N : numero di civiltà con cui si potrebbe comunicare

R : ritmo di formazione nella Galassia di stelle della sequenza principale (~ 10 /anno)

F_P : frazione di tali stelle che sono dotate di pianeti (~ 1)

N_T : numero di pianeti simili alla Terra per ogni sistema planetario (~ 1)

F_V : frazione di questi ultimi sui quali si è sviluppata la vita (~ 1)

F_I : frazione di essi in cui la vita è diventata “intelligente” ($\sim 10^{-1}$)

F_C : frazione di questi in cui si è sviluppata la tecnologia delle comunicazioni ($\sim 10^{-1}$)

D : durata della vita intelligente su detti pianeti ($\{ < 10^2$ anni,
 $\geq 10^8$ anni $\} \rightarrow \sim 10^7$ anni)

Dopo molte discussioni è stato azzardato che $N \sim 10^6$: un milione di civiltà confrontabili con la nostra o superiori, attualmente esistente nella Via Lattea. Poiché il suo numero di stelle è $\sim 10^{11}$, solo $10^6 / 10^{11} = 10^{-5} = 0,001 \%$ di esse avrebbe un pianeta sede di una civiltà avanzata.

Si può anche stimare quale sarebbe la distanza media fra due civiltà vicine, conoscendo le dimensioni della nostra Galassia: essa ha la forma di un disco schiacciato avente un diametro di $\sim 10^5$ al e uno spessore pari a un decimo del diametro, cioè $\sim 10^4$ al, quindi:

$$V \sim 10^5 \text{ al} \cdot 10^5 \text{ al} \cdot 10^4 \text{ al} = 10^{14} \text{ al}^3$$

Immaginando uniforme la distribuzione delle stelle sedi di civiltà, lo spazio galattico occupato da ogni stella è $10^{14} \text{ al}^3 / 10^6 = 10^8 \text{ al}^3$. Supponendo che esso abbia la forma di un cubo, la lunghezza dello spigolo risulta $L = \text{RadCub}(10^8 \text{ al}^3) \sim 500 \text{ al}$.

Possiamo prendere questo valore come distanza media fra due civiltà galattiche vicine: essa è tale da consentire eventuali “comunicazioni” interstellari, nel senso che potrebbero giungere sulla Terra segnali “intelligenti” provenienti da pianeti extrasolari ospiti di qualche stella distante da noi solo alcune centinaia di anni luce. “Vale allora la pena – concludevano gli scienziati del convegno – mettersi in ascolto”.

I fatti che ho raccontato sono veri e il progetto SETI è attualmente in esecuzione, ma finora non ha avuto alcun esito positivo.

Lo stato delle conoscenze è assai progredito rispetto a cinquant'anni fa, perché molti pianeti extrasolari sono stati scoperti negli ultimi anni (più di 250), confermando anche l'esistenza di altri sistemi planetari oltre al nostro. Non si tratta di pianeti ospitanti civiltà intelligenti o anche più semplicemente la vita, perché le condizioni ambientali su di essi sono proibitive. Inoltre, non sono stati osservati direttamente per la loro bassa luminosità (i pianeti non brillano di luce propria) che è soverchiata da quella della stella ospite per cui è molto difficile separare la luce che proviene dal pianeta da quella che proviene dalla stella.

Nella ricerca dei pianeti extrasolari sono stati utilizzati vari metodi indiretti basati sulla osservazione della stella ospite, per cercare di individuarne eventuali oscillazioni o anche variazioni di luminosità, provocate dai corpi che le orbitano attorno.

Infatti, come una stella esercita un'attrazione gravitazionale su un pianeta, anche il pianeta attrae la stella. Maggiore è la massa del pianeta e minore la sua distanza dalla stella, più intensa è la forza gravitazionale con cui esso la attira.

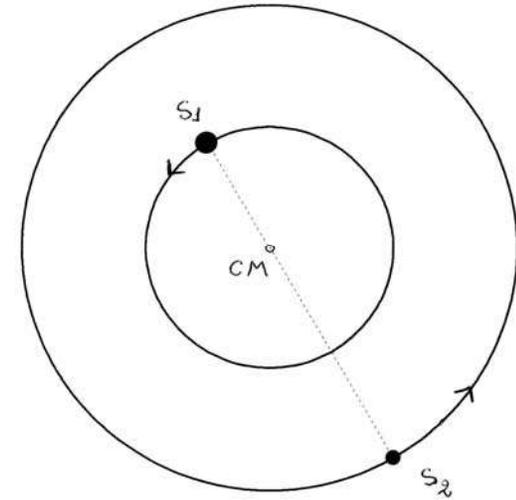
Una situazione simile si presenta nel caso delle stelle doppie, dove però le masse sono dello stesso ordine.

Sistema di due stelle.

Orbite circolari:

S_1 ha massa doppia di S_2 e raggio orbitale metà di S_2 ;

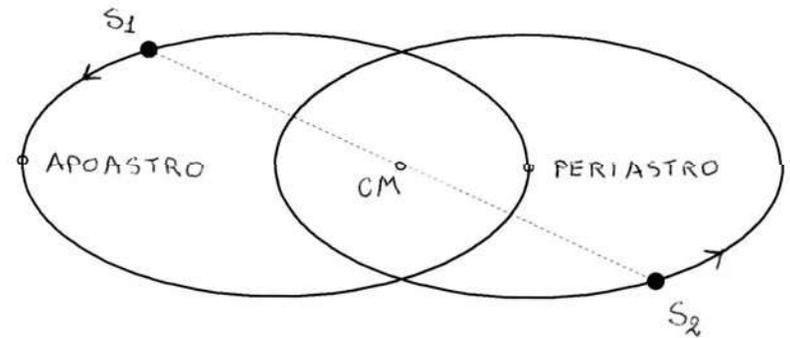
la velocità di S_1 è la metà di quella di S_2 .



Orbite ellittiche:

S_1 ed S_2 hanno la stessa massa;

le due orbite sono uguali e vengono percorse allo stesso modo.

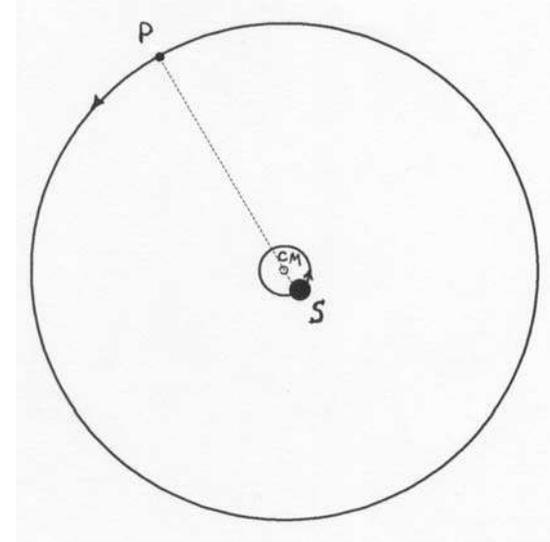


Nel caso di una coppia stella-pianeta, invece, le dimensioni delle due orbite sono molto diverse a causa della grande differenza fra le masse.

Orbite circolari:

la massa di S è dieci volte
quella di P ;

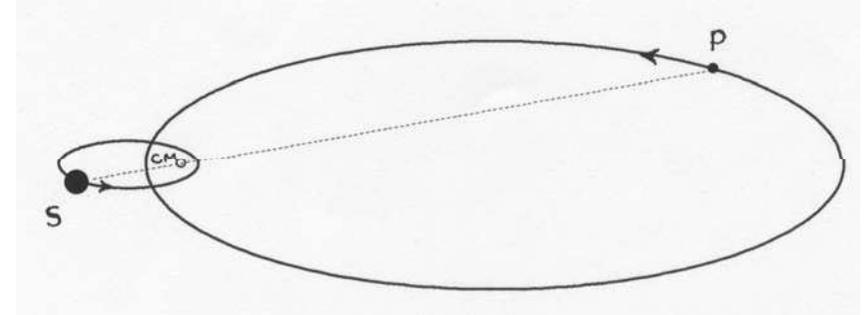
il raggio orbitale e la velocità di S
sono un decimo di quelli di P .



Orbite ellittiche:

la massa di S è cinque volte quella
di P ;

l'orbita di S è simile a quella di P ,
ma è cinque volte più piccola.



Le figure precedenti sono soltanto indicative.

In realtà, nel caso peggiore dei pianeti extrasolari scoperti finora, la massa stellare è più di venti volte quella del pianeta, ma per la maggior parte di essi la situazione è simile a quella del nostro Sole nei confronti di Giove ($M_{\text{SOLE}} \approx 1000 M_{\text{GIOVE}}$). Nei casi rimanenti il divario tra le masse è ancora più accentuato. Ne deriva che, guardando il sistema da lontano come accade per un osservatore terrestre, si vede la stella oscillare avanti e indietro con moto regolare.

1. Astrometria

E' la tecnica di misurare, con grande precisione, la posizione degli astri sulla volta celeste. Per riconoscere, con questo metodo, le oscillazioni stellari provocate da un pianeta, occorrono un'estrema accuratezza e lunghi periodi di osservazione (mesi o anni).

Lo si può capire facilmente provando a invertire le parti e a immaginare un ipotetico osservatore su un pianeta distante da noi 10 parsec ≈ 33 al: come gli apparirebbero le oscillazioni del nostro Sole dovute a Giove, il più grande dei suoi pianeti? Il calcolo non è difficile; poiché l'orbita di Giove è circolare possiamo scrivere:

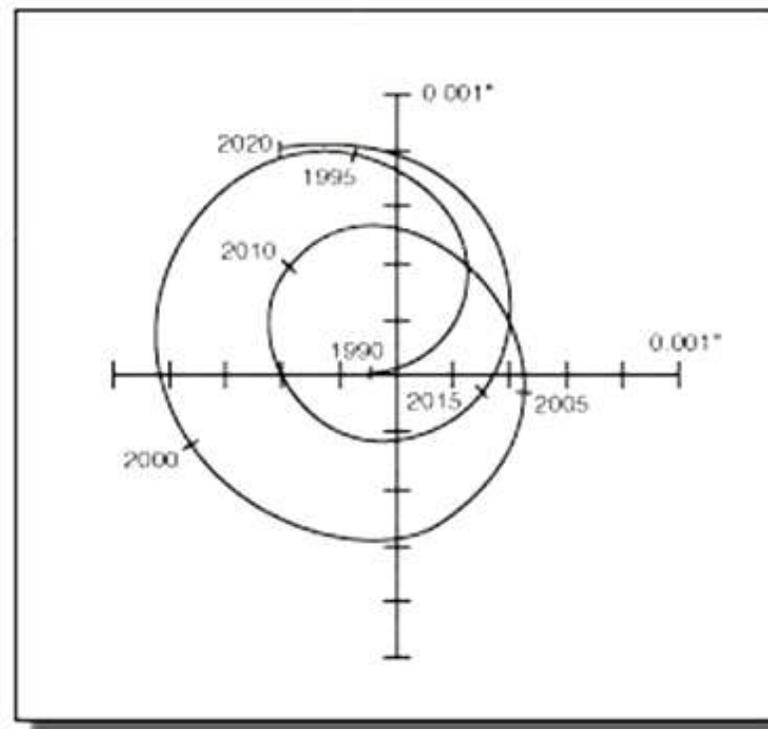
$$R_{\text{SOLE}} / R_{\text{GIOVE}} = M_{\text{GIOVE}} / M_{\text{SOLE}}$$

$$R_{\text{SOLE}} = R_{\text{GIOVE}} \cdot M_{\text{GIOVE}} / M_{\text{SOLE}} \approx R_{\text{GIOVE}} / 1000 \approx 5 \text{ UA} / 1000$$

Una unità astronomica UA ($R_{\text{TERRA}} = 1\text{UA}$), alla distanza di un parsec, è vista sotto un angolo pari a un secondo d'arco (as), come sarebbe per una moneta da due euro a più di cinque chilometri di distanza. I suoi cinque millesimi, alla stessa distanza, sottendono un angolo duecento volte più piccolo e a una distanza dieci volte maggiore (10 parsec) l'angolo è 2000 volte più piccolo, cioè 1as/2000. Dunque l'angolino sotto cui l'ipotetico extraterrestre dovrebbe osservare gli spostamenti del nostro Sole sarebbe uguale a

quello con cui noi dovremmo vedere una moneta da due euro a più di 10000 chilometri di distanza!

Come risulta dal grafico l'ampiezza delle oscillazioni sarebbe, in certi periodi, anche minore e quindi occorrerebbe una tecnologia molto avanzata per rilevare spostamenti così piccoli su periodi lunghi decine di anni ($T_{\text{GIOVE}} \approx 12$ anni).



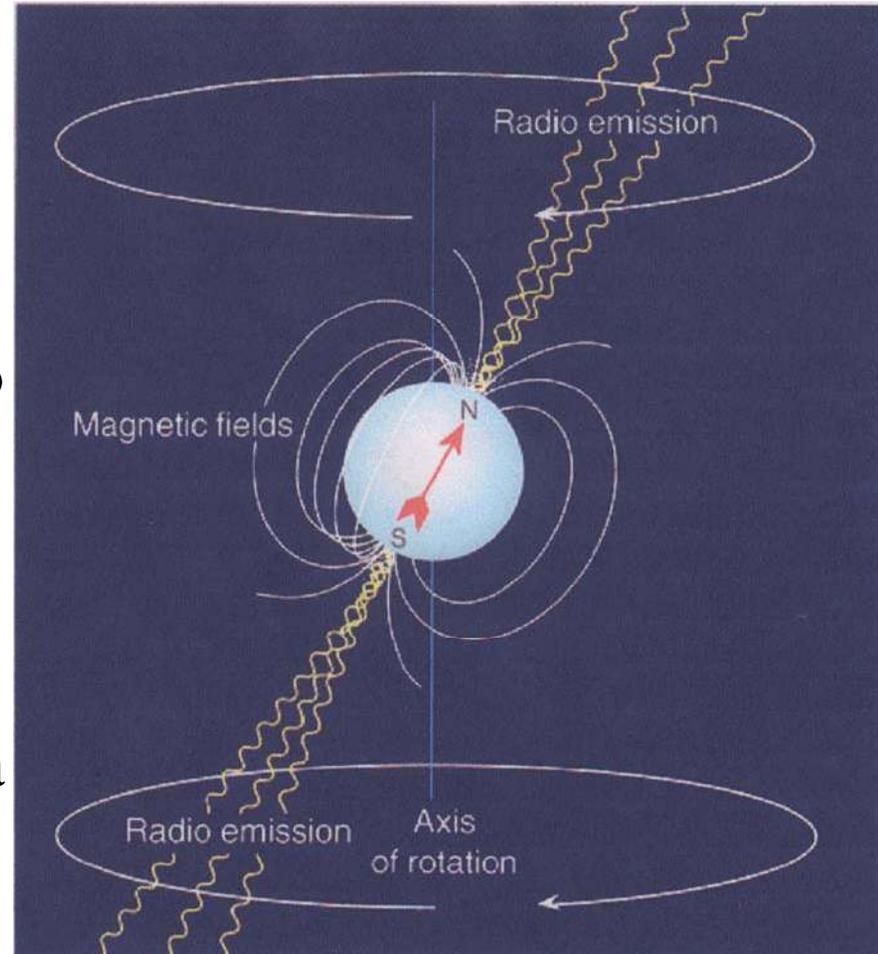
Astrometric displacement of the Sun due to Jupiter as it would be observed from 10 parsecs, or about 33 light-years.

Oggi sarebbe possibile fare tali misure dalla Terra, ma ricorrendo a strumentazioni su satelliti, fuori dall'atmosfera terrestre e dai suoi disturbi. Solo uno dei pianeti extrasolari scoperti finora, infatti, è stato individuato con questo metodo, utilizzando proprio il telescopio spaziale Hubble, in orbita attorno alla Terra dal 1990.

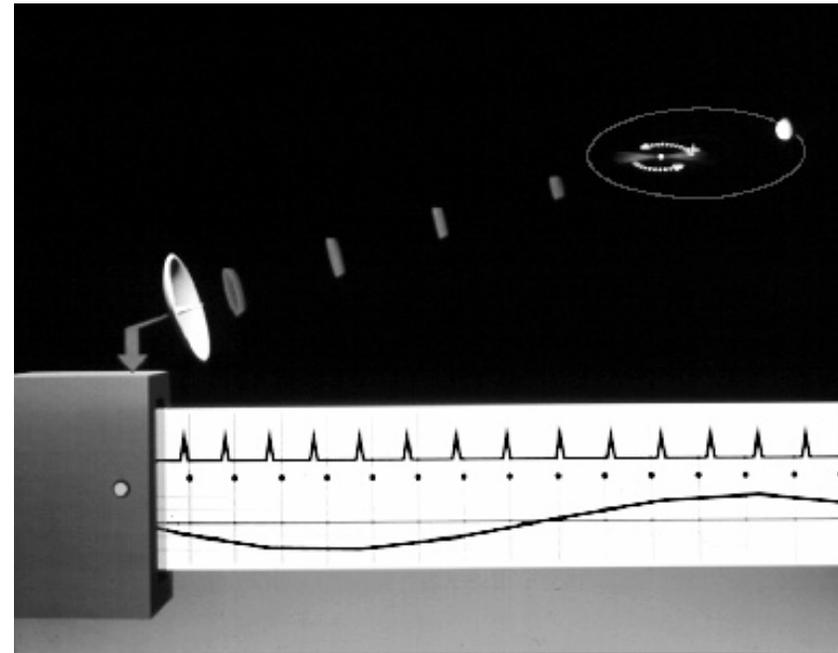
Attualmente sono in fase di allestimento alcuni progetti che diventeranno operativi fra qualche anno, in particolare il lancio verso il 2010 del satellite GAIA da parte dell'Agenzia Spaziale Europea. GAIA dovrebbe essere in grado di scoprire circa 30 000 pianeti della taglia di Giove.

2. Analisi del segnale delle pulsar

Le pulsar, residui di esplosioni di supernove, sono stelle particolari nella fase finale della loro esistenza che, ruotando vorticosamente su loro stesse anche più volte al secondo, come fari cosmici emettono fasci collimati di onde radio nello spazio a un ritmo molto regolare, correlato al periodo di rotazione dell'astro.

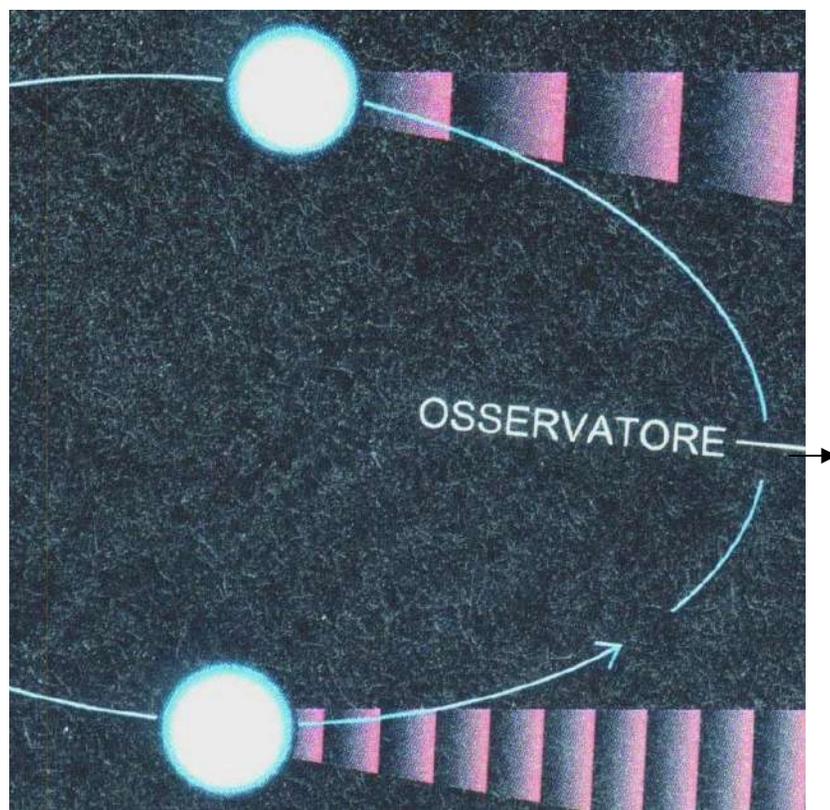


I segnali delle pulsar vengono misurati con grandissima precisione e talvolta accade che presentino delle piccole variazioni di frequenza che periodicamente aumenta e diminuisce in modo regolare, evidenziando fasi alterne in cui la pulsar si muove verso di noi o si allontana (effetto Doppler), dimostrando così di percorrere un'orbita chiusa. Il disegno mostra il sistema pulsar-planetario con le due orbite e i segnali ritmati che la stella invia verso un radiotelescopio a terra; in basso la registrazione degli impulsi che leggermente s'infittiscono e si diradano in modo periodico e lento.



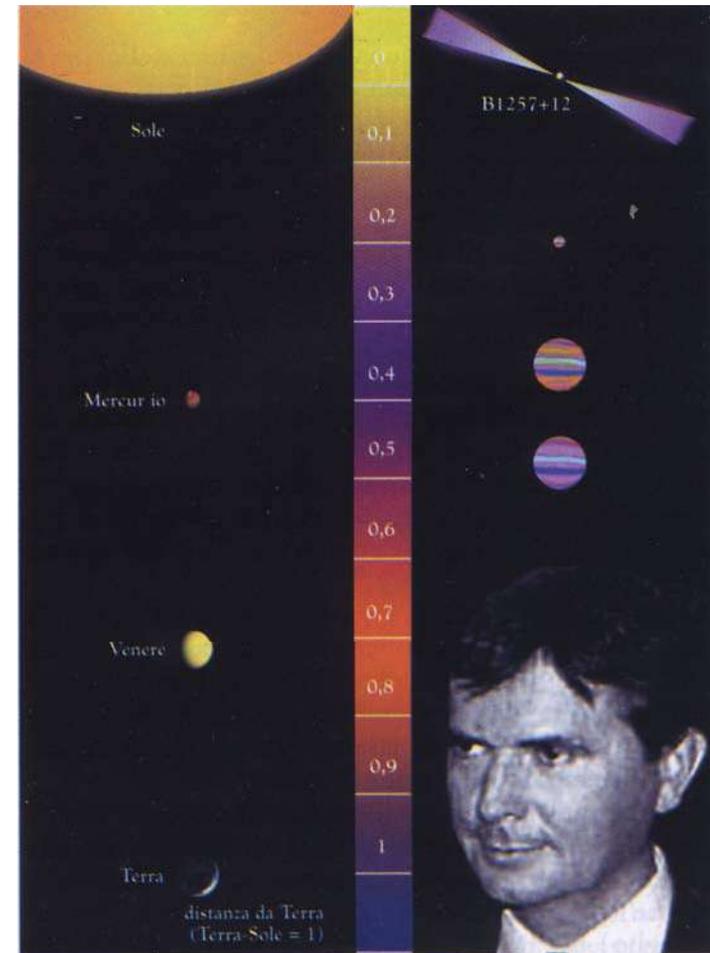
Qui lo stesso effetto è visto dall'alto, evidenziando l'aumento di frequenza degli impulsi quando la stella si muove verso l'osservatore e la sua diminuzione quando si allontana.

Il primo pianeta extrasolare, anzi il primo sistema planetario extrasolare (tre pianeti) è stato scoperto proprio in questo modo nel 1992 da Alexander Wolszczan della Penn State University, utilizzando il gigantesco (305 m) radiotelescopio di Arecibo.



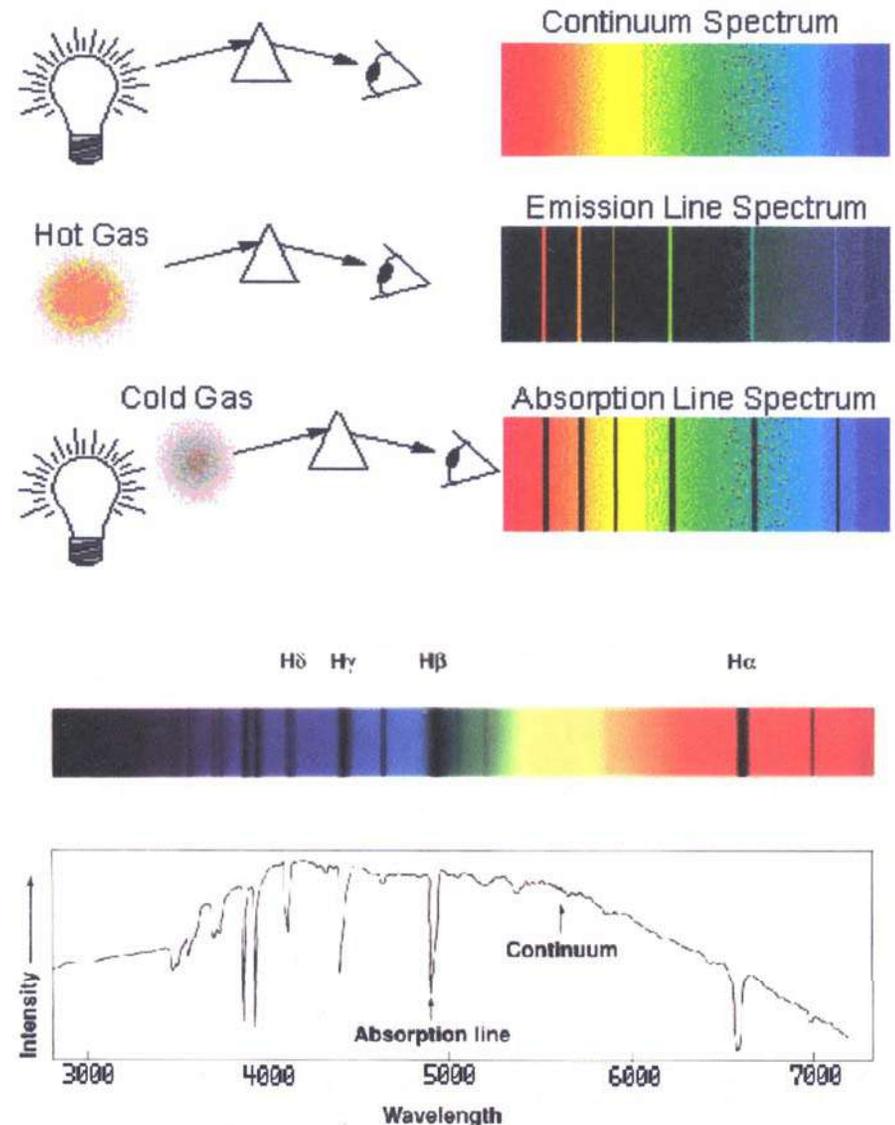
L'immagine mostra lo scopritore e sullo sfondo il sistema planetario della pulsar PSR B1257+12, distante da noi 1500 al nella costellazione della Vergine, messo a confronto con il sistema solare.

Al centro è riportata una scala delle distanze, suddivisa in decimi di UA. Le masse dei tre pianeti scoperti sono nell'ordine $M_1 = 0,02 M_{\text{TERRA}}$, $M_2 = 4,3 M_{\text{TERRA}}$, $M_3 = 3,9 M_{\text{TERRA}}$. I loro periodi di rivoluzione sono rispettivamente $T_1 = 25$ giorni, $T_2 = 66$ g, $T_3 = 98$ g.



3. Spettroscopia Doppler

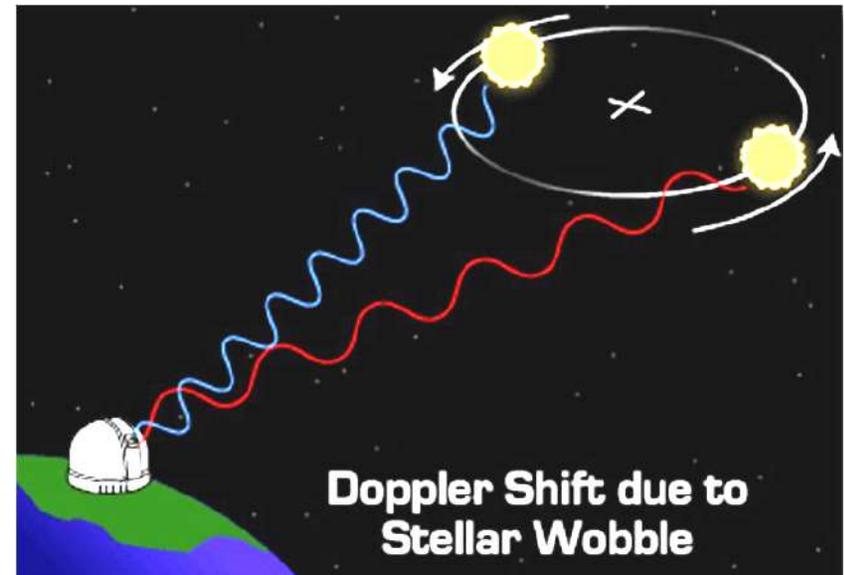
Gli spettri stellari si ottengono facendo passare la luce di una stella attraverso un dispositivo ottico, come per esempio un prisma, per ottenere la separazione nei colori dell'iride (dispersione della luce). A seconda delle caratteristiche della sorgente di luce lo spettro appare continuo o a righe.



Un gas incandescente emette uno spettro a righe, la cui distribuzione è caratteristica degli elementi che costituiscono il gas. Tuttavia, se il gas è attraversato dalla radiazione emessa da una sorgente luminosa a spettro continuo che gli sta dietro, esso tende ad assorbire quelle frequenze (quelle righe colorate) che sarebbe portato ad emettere se fosse incandescente, e così lo spettro continuo della sorgente si presenta solcato da righe nere, la cui distribuzione è caratteristica degli elementi che costituiscono il gas. Si chiamano righe di assorbimento. Tutti gli spettri stellari sono solcati dalle righe di assorbimento dovute ai gas che circondano la stella.

Ebbene, se l'astro si allontana o si avvicina a noi, le righe risultano spostate, rispettivamente verso il rosso o verso il violetto, e tanto più quanto maggiore è la velocità con cui si muove la stella (effetto Doppler). La situazione è simile a quella della pulsar, fatto salvo che le onde elettromagnetiche analizzate con lo spettroscopio sono nel visibile, mentre quelle della pulsar sono nella banda radio.

L'effetto Doppler permette di ricavare diverse informazioni sul moto stellare e sugli eventuali pianeti che lo influenzano, a cominciare dalla velocità della

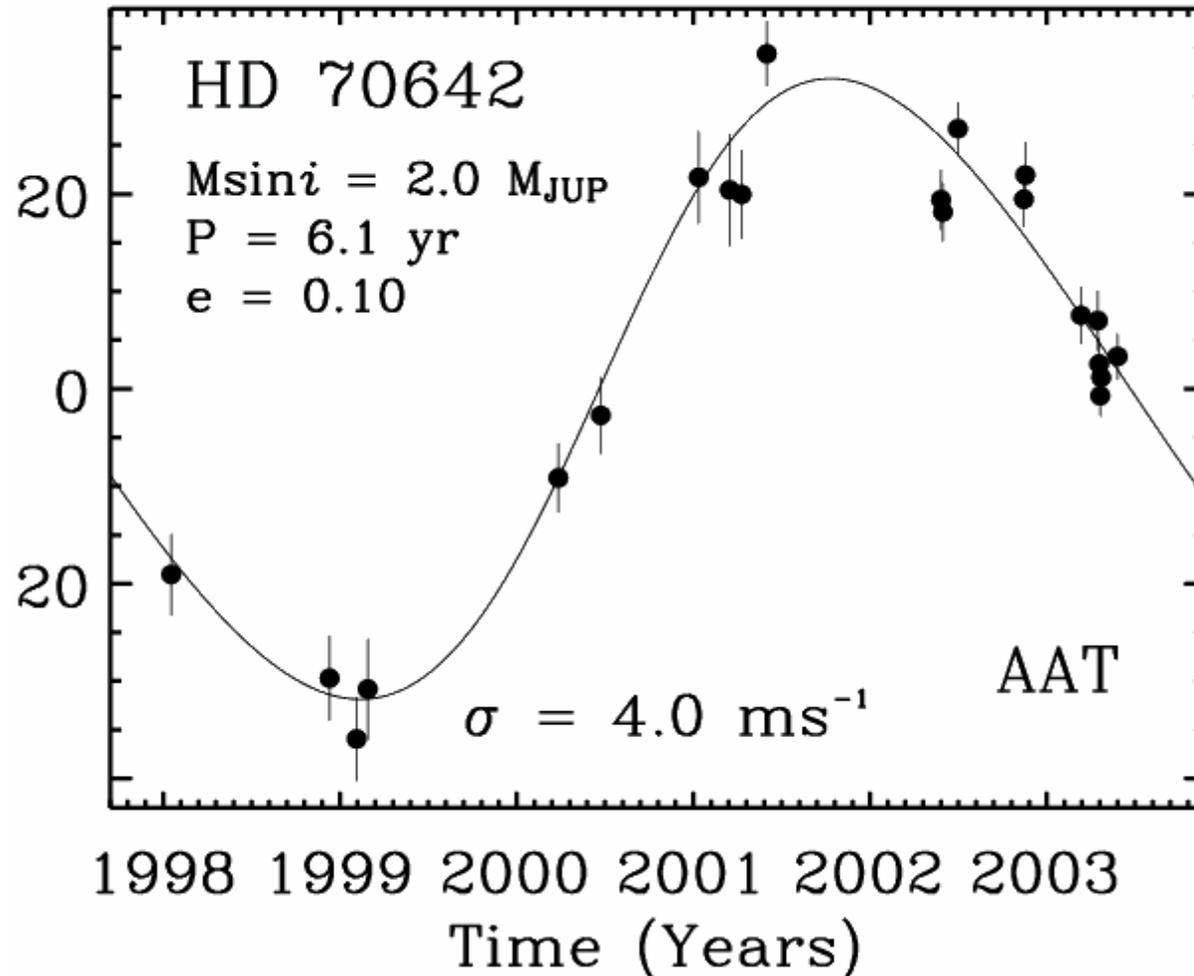


stella nelle fasi di avvicinamento e di allontanamento (velocità radiale). Tale velocità è di solito molto bassa per cui lo spostamento Doppler delle righe spettrali è molto piccola e difficile da misurare: occorrono quindi spettroscopi molto sensibili per poterlo evidenziare con sicurezza e per ricavarne dati attendibili.

La maggior parte dei pianeti scoperti negli ultimi dieci anni attorno a stelle simili al nostro Sole sono stati trovati con questo metodo. Come esempio consideriamo le figure seguenti che mostrano i grafici della velocità radiale (m/s) in funzione del tempo (anni), ottenuti qualche anno fa con il telescopio Anglo–Australiano da 3,9 m.

Si tratta di due pianeti di tipo gioviano che orbitano rispettivamente attorno alle stelle HD 70642 e HD 39091.

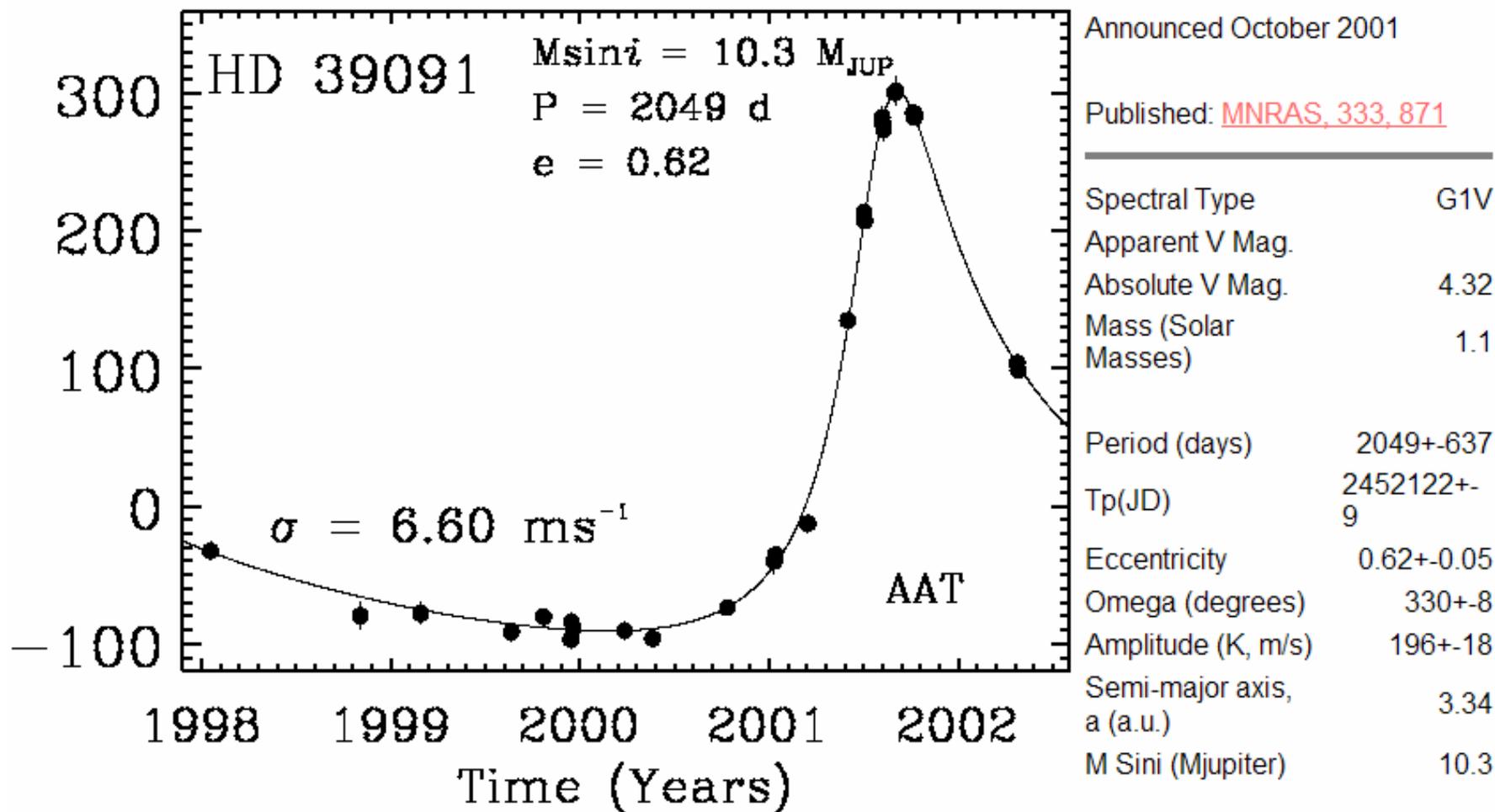
Announced 4 July, 2003



[Published: ApJ, 593, L43](#)

Spectral Type	G5V
Apparent V Mag.	7.17
Absolute V Mag.	4.87
Mass (Solar Masses)	1.00 ± 0.05
[Fe/H]	$+0.16 \pm 0.02$
Period (days)	2231 ± 400
T_p (JD)	2451749 ± 300
Eccentricity	0.10 ± 0.06
Omega (degrees)	277 ± 75
Amplitude (K, m/s)	32 ± 5
Semi-major axis, a (a.u.)	3.3
M Sini (Mjupiter)	2.0

La forma diversa delle curve dipende dall'eccentricità delle orbite e dal loro orientamento rispetto alla direzione di osservazione.

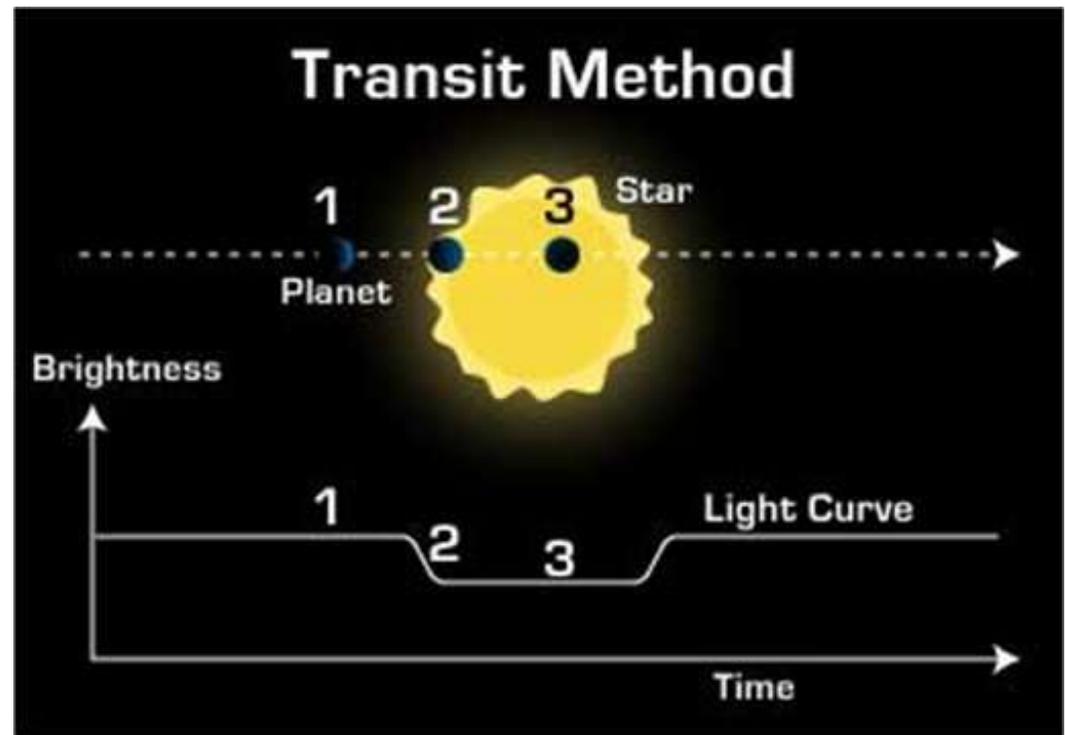


4. Fotometria

Un altro metodo utilizzato per individuare corpi orbitanti attorno a una stella, è quello fotometrico che consiste nel misurare l'intensità luminosa dell'astro per lunghi periodi di tempo, allo scopo di registrare eventuali attenuazioni dovute al passaggio davanti al disco stellare di un corpo celeste

che vi orbita attorno.

Naturalmente per potere osservare tale effetto è necessario che l'orbita sia vista di profilo e questo



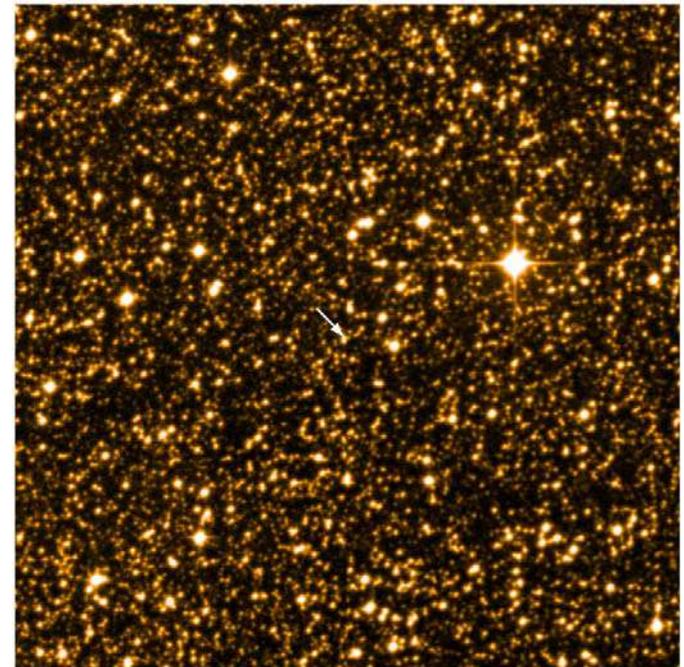
fatto riduce di molto la probabilità di osservarlo, dato che un'orbita planetaria può essere orientata nello spazio in modo qualsiasi.

Bisogna anche poter escludere che la stella sotto osservazione faccia parte di un sistema binario, con una nana bruna come stella compagna. Nonostante tali difficoltà, a tutt'oggi una trentina di pianeti extrasolari sono stati individuati con questo metodo.

Anche qui è necessario disporre di strumenti molto sensibili, tuttavia gli sforzi dei ricercatori sono poi premiati dal fatto che si possono avere diverse informazioni non consentite dai metodi precedenti, come il diametro del pianeta, la presenza di eventuali satelliti o addirittura di anelli planetari.

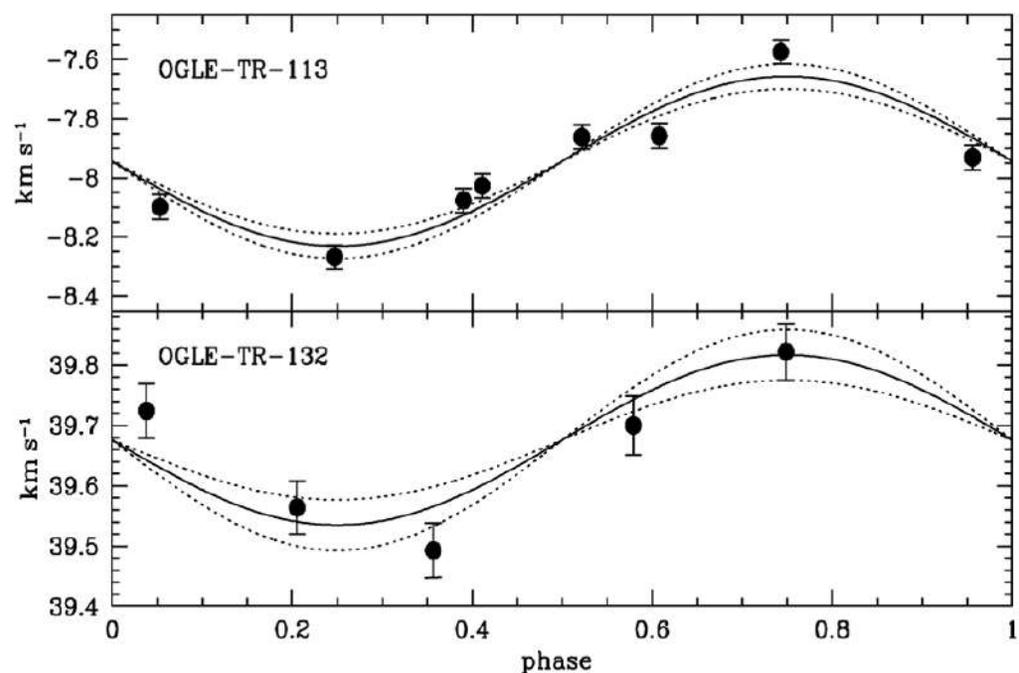
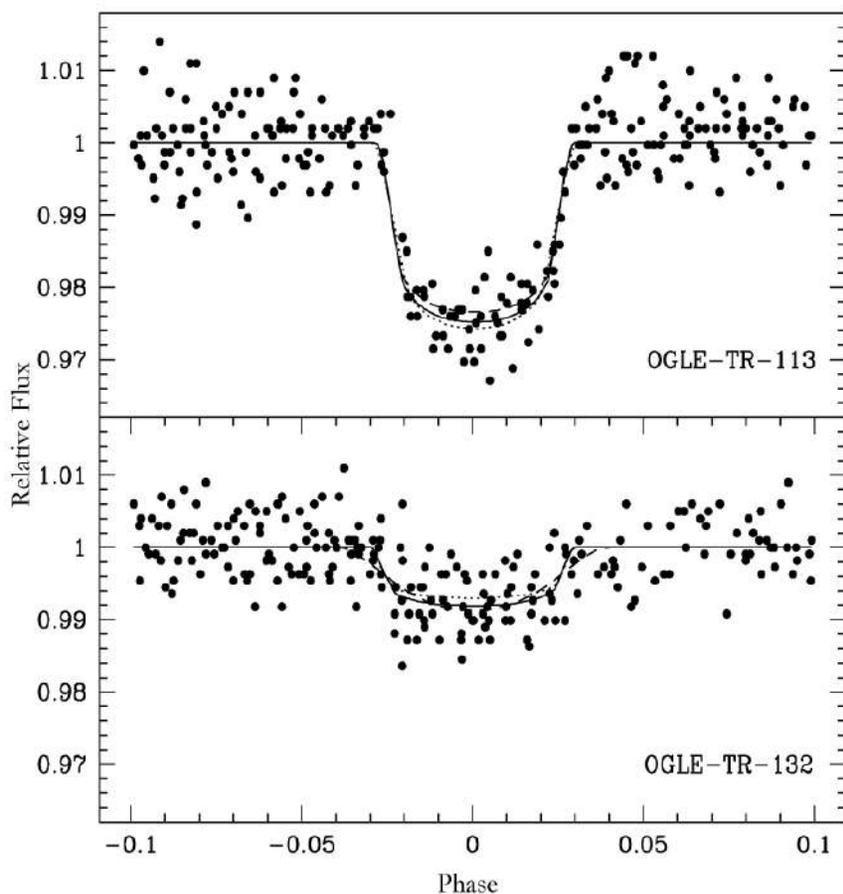
Inoltre, lo studio dei transiti è uno dei metodi più promettenti per la ricerca di pianeti di tipo terrestre.

Per illustrarne alcuni aspetti consideriamo due pianeti scoperti nel 2004 all'osservatorio europeo di Cerro Paranal in Cile. Le due stelle ospiti, note come OGLE-TR-113 e OGLE-TR-132, sono abbastanza simili al nostro Sole e si trovano nella costellazione australe della Carena, rispettivamente alla distanza di 6000 al e 1200 al. L'immagine mostra la posizione della prima in un quadratino della volta celeste di lato 10 primi d'arco.



OGLE-TR-113
(Digital Sky Survey)

Le figure forniscono rispettivamente i grafici con la variazione di luminosità e i grafici con l'andamento della velocità radiale delle due stelle. Le velocità radiali sono state misurate con il metodo della spettroscopia Doppler, visto in precedenza.

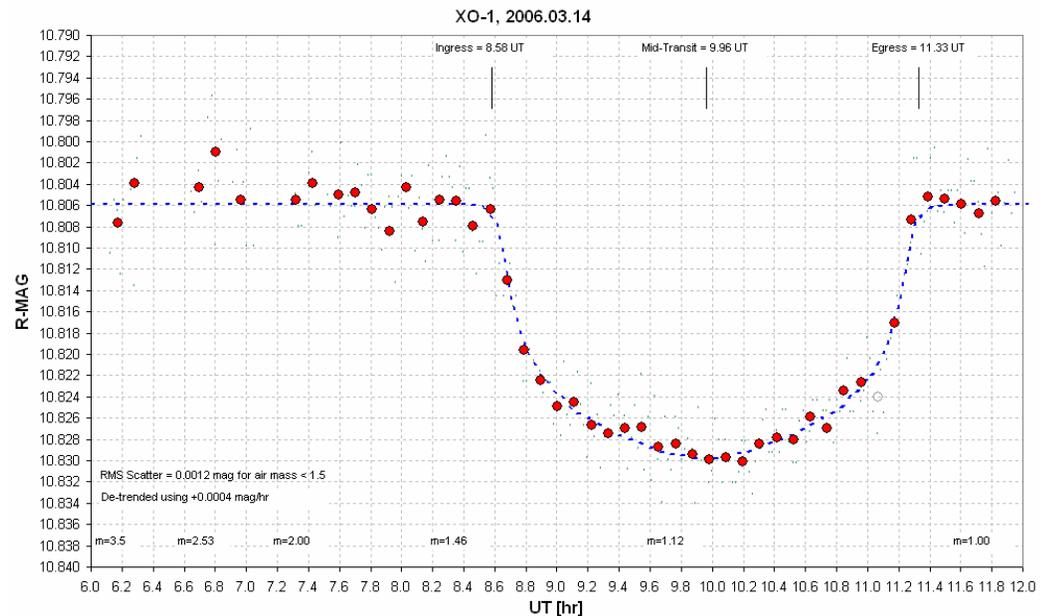


Velocity Variations of Two Stars with Transiting Exoplanets
(VLT KUEYEN + FLAMES)

Dall'insieme dei dati ottenuti con i due metodi gli astronomi hanno potuto stabilire le caratteristiche dei due pianeti: per massa e dimensioni sono molto simili a Giove, ma orbitano attorno alla loro stella a distanza molto ravvicinata, con un periodo di rivoluzione di circa 1,5 giorni. Per questo motivo vengono indicati come 'very hot Jupiters'.

Un altro caso interessante di pianeta extrasolare di tipo gioviano che transita davanti alla propria stella è stato scoperto nella Corona Boreale. La stella ospite, molto simile al Sole e indicata come XO-1, è distante circa 650 al. Con un Celestron da 14 pollici, equipaggiato con una camera CCD, un astrofilo dell'Arizona di nome B. Gary che ha

collaborato con un gruppo di astronomi nell'indagine ed è coautore del relativo articolo uscito su *Astrophysical Journal*, ha ottenuto i dati e il grafico riportati in figura. Il pianeta, che provoca una riduzione di luminosità di XO-1 circa del 2%, è un po' più grande di Giove, ma con una massa leggermente inferiore; compie una rivoluzione attorno alla stella in circa 4 giorni alla distanza di 0,05 UA, pari a 1/8 del raggio orbitale di Mercurio. Anche in questo caso si tratta di un 'Giove caldo'.



5. Lente gravitazionale

Il metodo deriva da un risultato della teoria generale della relatività einsteiniana, secondo la quale la gravità può deviare il cammino della luce. Tutti riteniamo che la luce si propaghi in linea retta, ma in realtà ciò non è sempre vero. Per esempio, quando i raggi del Sole attraversano una lente d'ingrandimento sono indotti

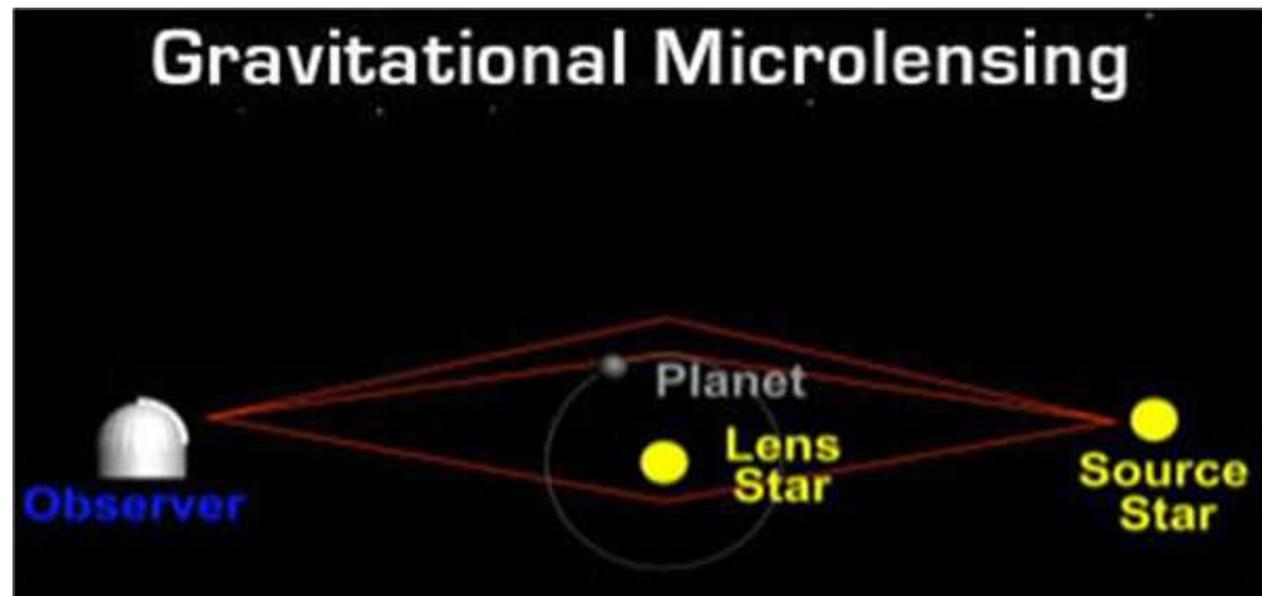
a convergere su una

area piccolissima

(dove è possibile

accendere un

fiammifero a



causa dell'elevata temperatura).

Qualcosa di simile si presenta anche quando un oggetto di grande massa come un astro passa davanti a un altro, lungo la nostra linea visuale: il forte campo gravitazionale stellare incurva il percorso della luce e così accade che lo spazio circostante la stella agisca come una lente che deflette e intensifica la luce. Tale effetto viene riscontrato durante le eclissi di Sole quando, osservando le stelle in prossimità del bordo del disco solare, esse appaiono spostate un po' verso l'esterno.

Per la grande precisione con cui vengono effettuate le misurazioni, la tecnica basata sulla 'lente gravitazionale' è molto usata in astronomia nell'osservazione di oggetti molto lontani, come galassie

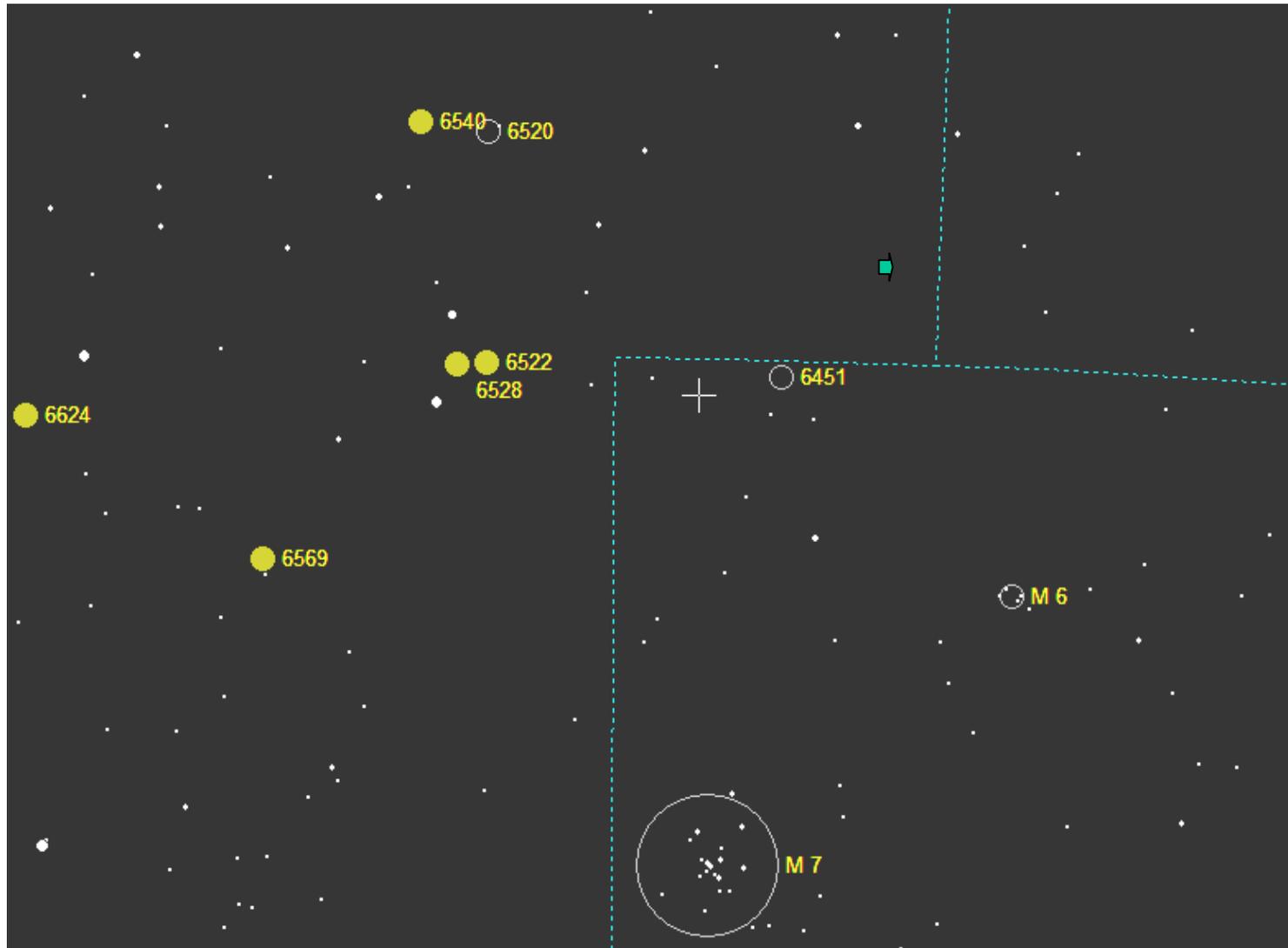
e quasar. Tuttavia essa può servire anche nella ricerca dei pianeti extrasolari, perché un oggetto orbitante attorno a un astro mentre sta fungendo da ‘lente gravitazionale’, perturba le misurazioni e segnala così la propria presenza. Non solo, ma dall’entità della perturbazione è possibile ricavare altre informazioni.

In aprile e in luglio del 2005 con questo metodo sono stati scoperti due pianeti orbitanti attorno a due stelle dello Scorpione, in prossimità del Centro Galattico. La mappa seguente mostra la regione del cielo australe interessata. I due astri, catalogati come OGLE-05-071L e OGLE-05-390L (indicato dalla crocetta), distano da noi circa 9500 al e 20000 al rispettivamente e hanno masse $M_{071} = 0,13 M_{SOLE}$ e

$$M_{390} = 0,22 M_{\text{SOLE}}.$$

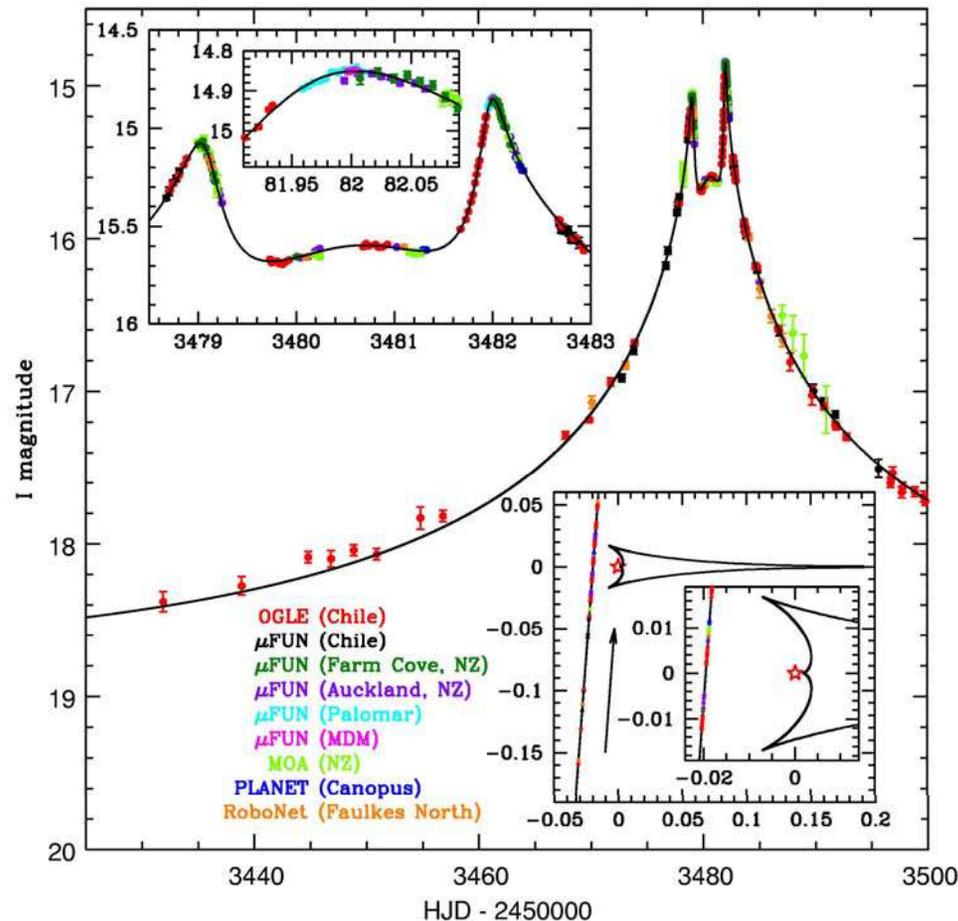
Sagittario

Ofiuco



S
c
o
r
p
i
o
n
e

Il grafico mostra, con alcuni dettagli, come il primo astro, fungendo da lente gravitazionale, abbia modificato la luminosità di una stella lontana col passare dei mesi, e come il transito di un pianeta davanti ad esso abbia alterato per tre giorni, in corrispondenza del picco,

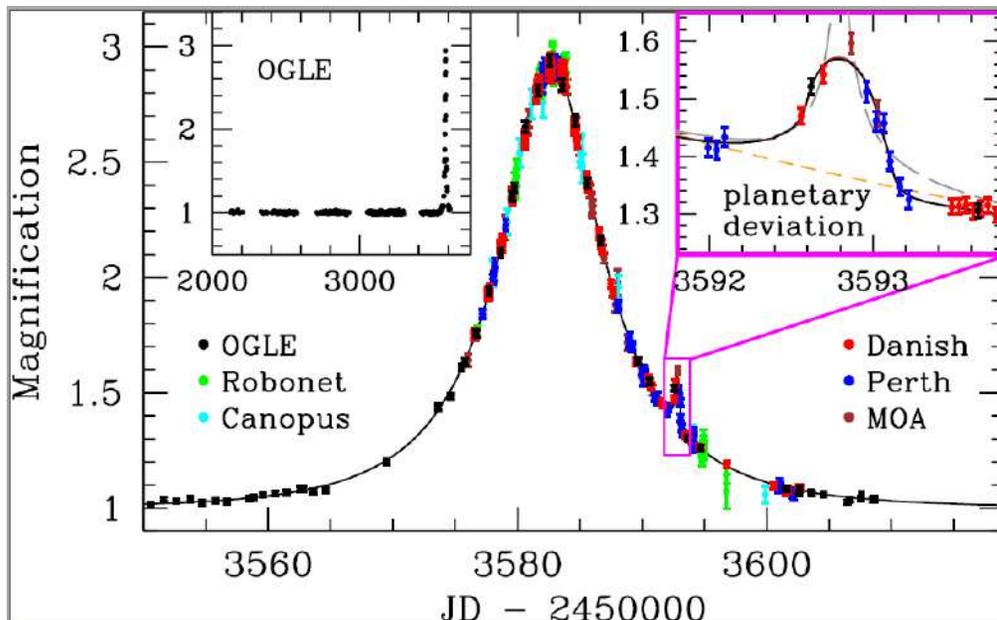


l'andamento regolare della curva (i dati targati NZ sono stati ottenuti da due astrofili neozelandesi).

Il pianeta, di tipo gioviano con $M = 0,9 M_{\text{GIOVE}}$, orbita attorno all'astro a una distanza di

1,8 UA in circa 8 anni.

Il nuovo grafico ha lo stesso significato del precedente e si riferisce al secondo astro nel periodo in cui ha fatto da 'lente'. Qui la curva presenta un'alterazione verso la fine del fenomeno durato più di due mesi: un piccolo picco secondario della durata di circa un giorno. Per la prima volta dopo dieci anni di indagini, il pianeta perturbatore così



scoperto risulta assomigliare più alla Terra che a Giove: ha massa $M = 5,5 M_{\text{TERRA}}$ e si ritiene che sia di tipo roccioso. Compie una rivoluzione

attorno alla sua stella ogni 10 anni, alla distanza di 2 UA e, anche a causa della piccolezza dell'astro, riceve solo 1/1000 della radiazione che la nostra Terra riceve dal Sole, per cui la sua temperatura superficiale è valutata intorno ai 50 K (- 223 °C). Non è quindi pensabile che possano esistere forme di vita su un pianeta di tipo terrestre tanto freddo.

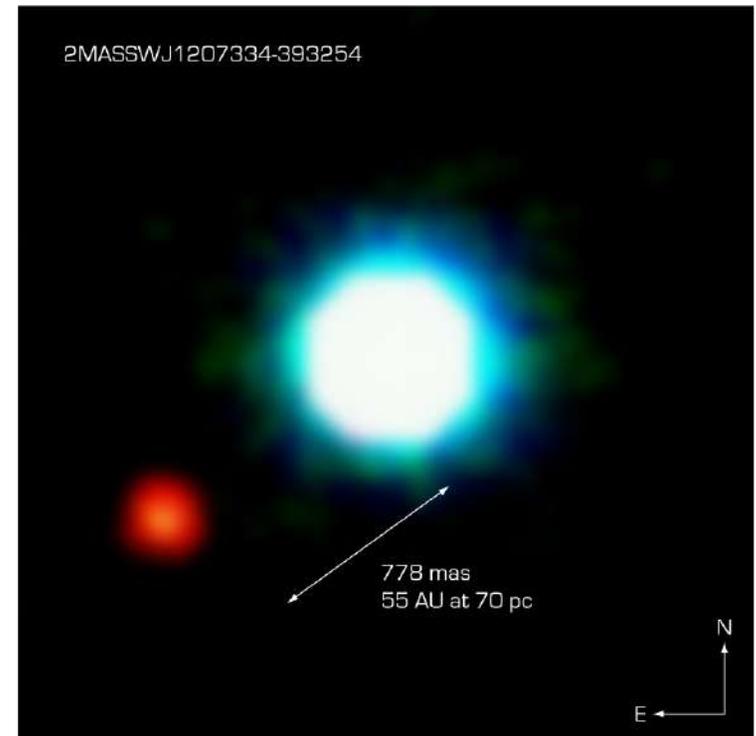
6. Prime immagini

Si vorrebbe sapere se esiste un pianeta come il nostro che orbiti attorno al suo sole, e magari vederlo. Come accennavo all'inizio, questa immagine è ancora di là da venire, se mai si avrà. Tuttavia la prima immagine (nell'infrarosso) di un pianeta extrasolare è già stata

da uno dei grandi telescopi dell'Osservatorio Europeo dislocato a Cerro Paranal in Cile. Il pianeta, di massa $M = 5 M_{\text{GIOVE}}$, orbita attorno alla nana bruna 2M1207A, distante 200 al, nella costellazione dell'Idra. Il raggio orbitale è molto grande, 50 UA, e per avere una

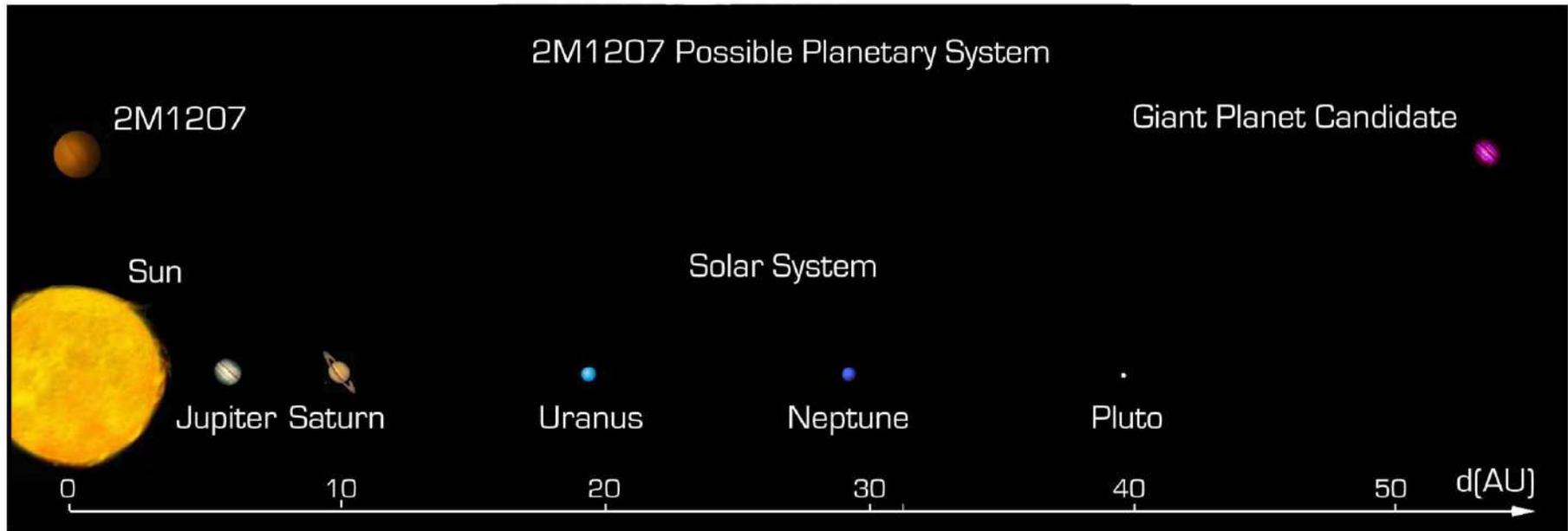


The VLT Array on the Paranal Mountain



NACO Image of the Brown Dwarf Object 2M1207 and GPCC

idea di quel sistema planetario è utile un confronto con il nostro sistema solare, come illustra la figura seguente, nella quale i corpi disegnati sono in scala ma le distanze sono state molto compresse.



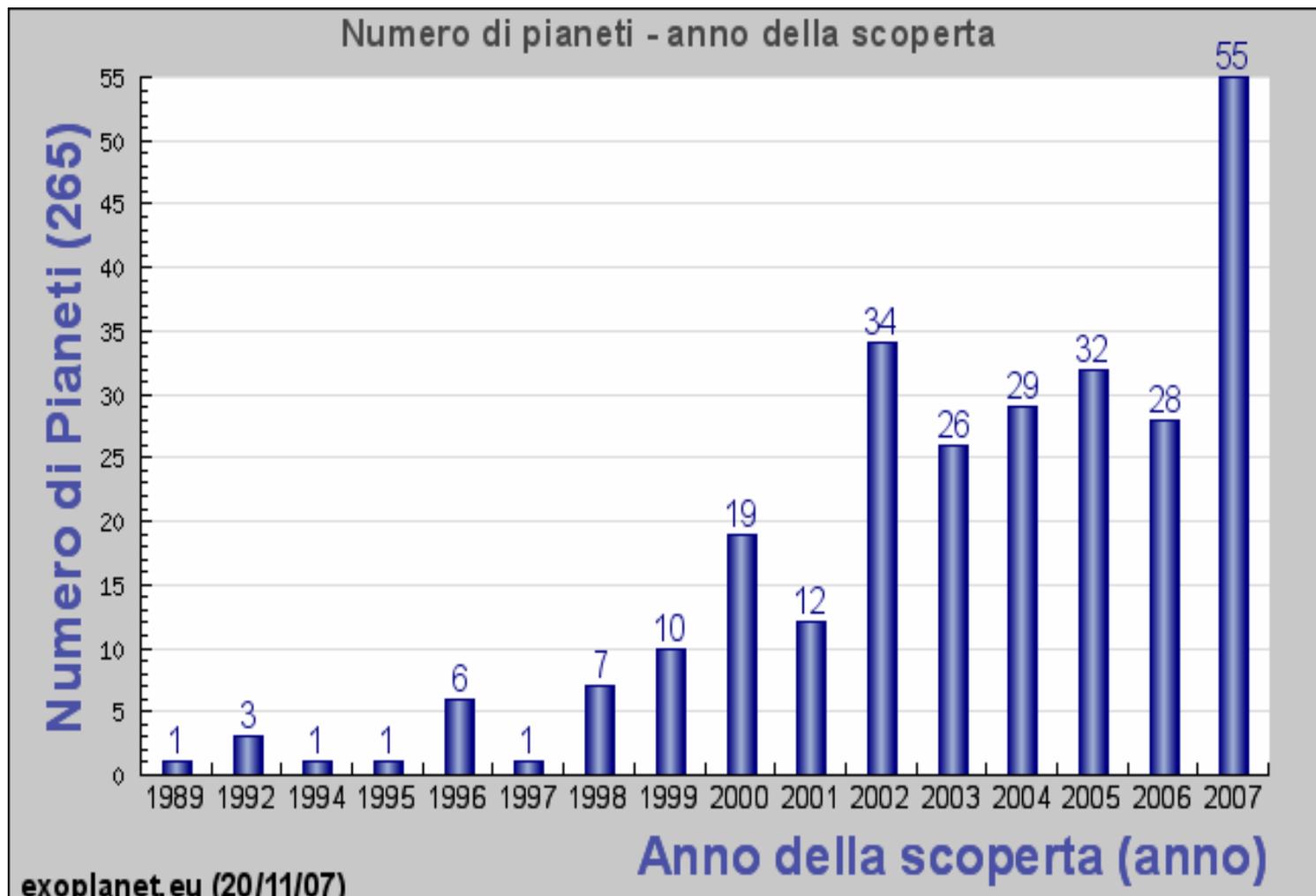
Comparison between the possible 2M1207 System and the Solar System

Un po' di statistica

Al 20 novembre 2007 risultavano scoperti 265 pianeti extrasolari, così suddivisi fra i diversi metodi utilizzati.

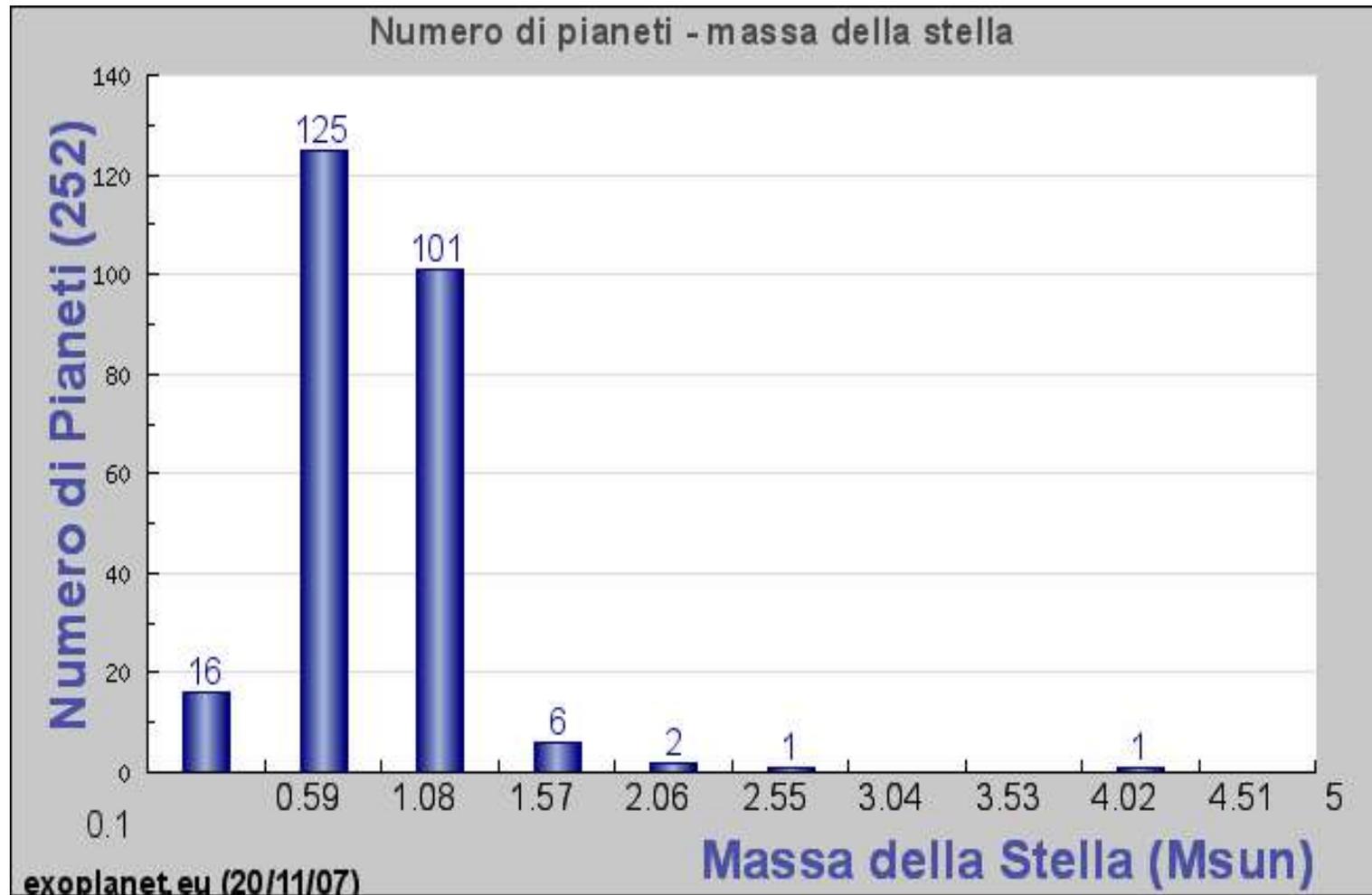
METODO	PIANETI	SISTEMI PLANETARI	SISTEMI MULTIPLI
Segnale pulsar	5	3	1
Spettroscopia Doppler (velocità radiale)	252	216	25
Fotometria (transiti)	(33)	(33)	(0)
Lente gravitazionale	4	---	---
Immagini	4	---	---

Nell'ambito dei numerosi pianeti individuati con la spettroscopia Doppler si possono fare altre considerazioni sulla base di alcuni istogrammi.



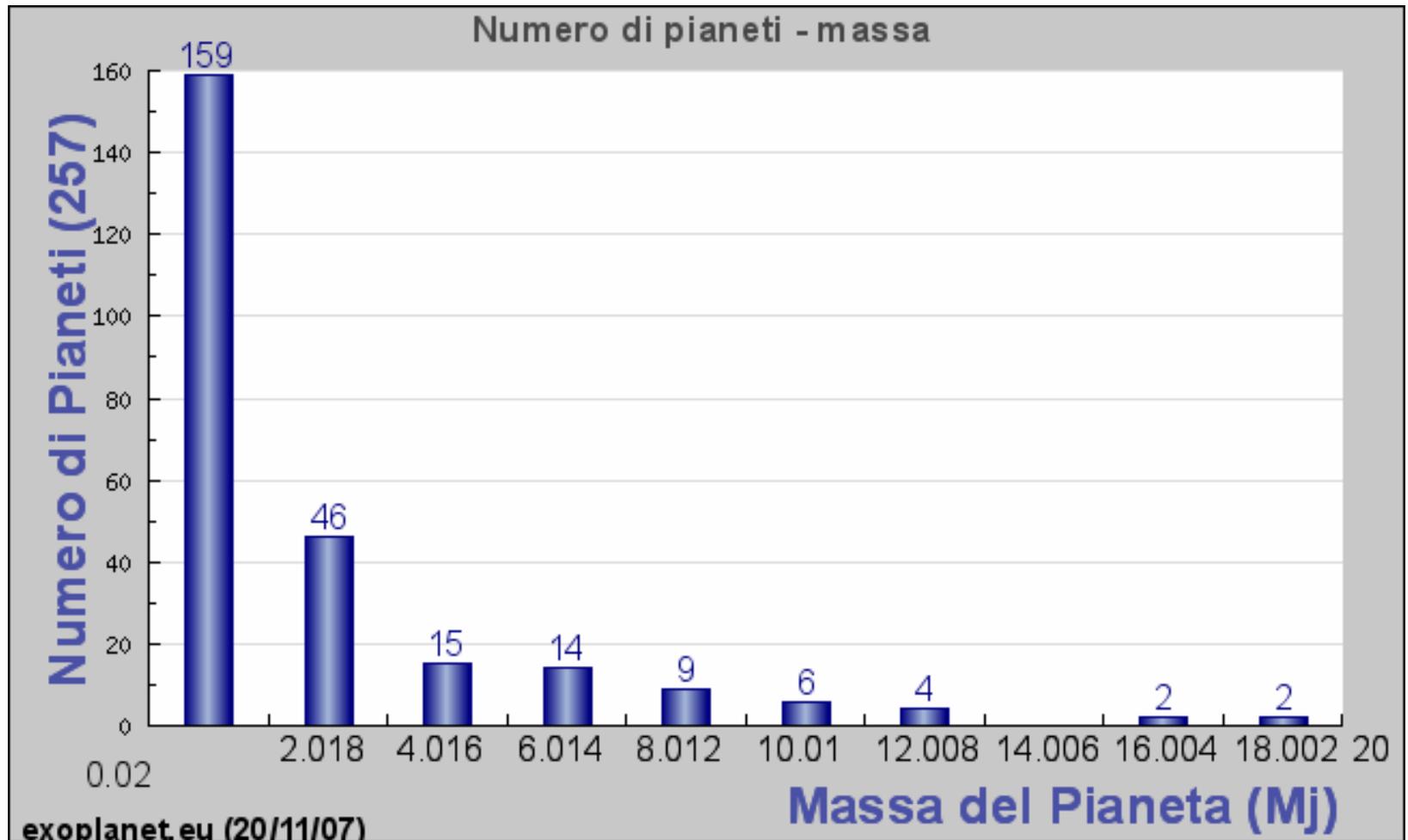
La maggior parte delle stelle ospiti hanno massa uguale a quella del Sole o poco diversa:

$$0,59 M_{\text{SOLE}} \quad M < 1,6 M_{\text{SOLE}}$$

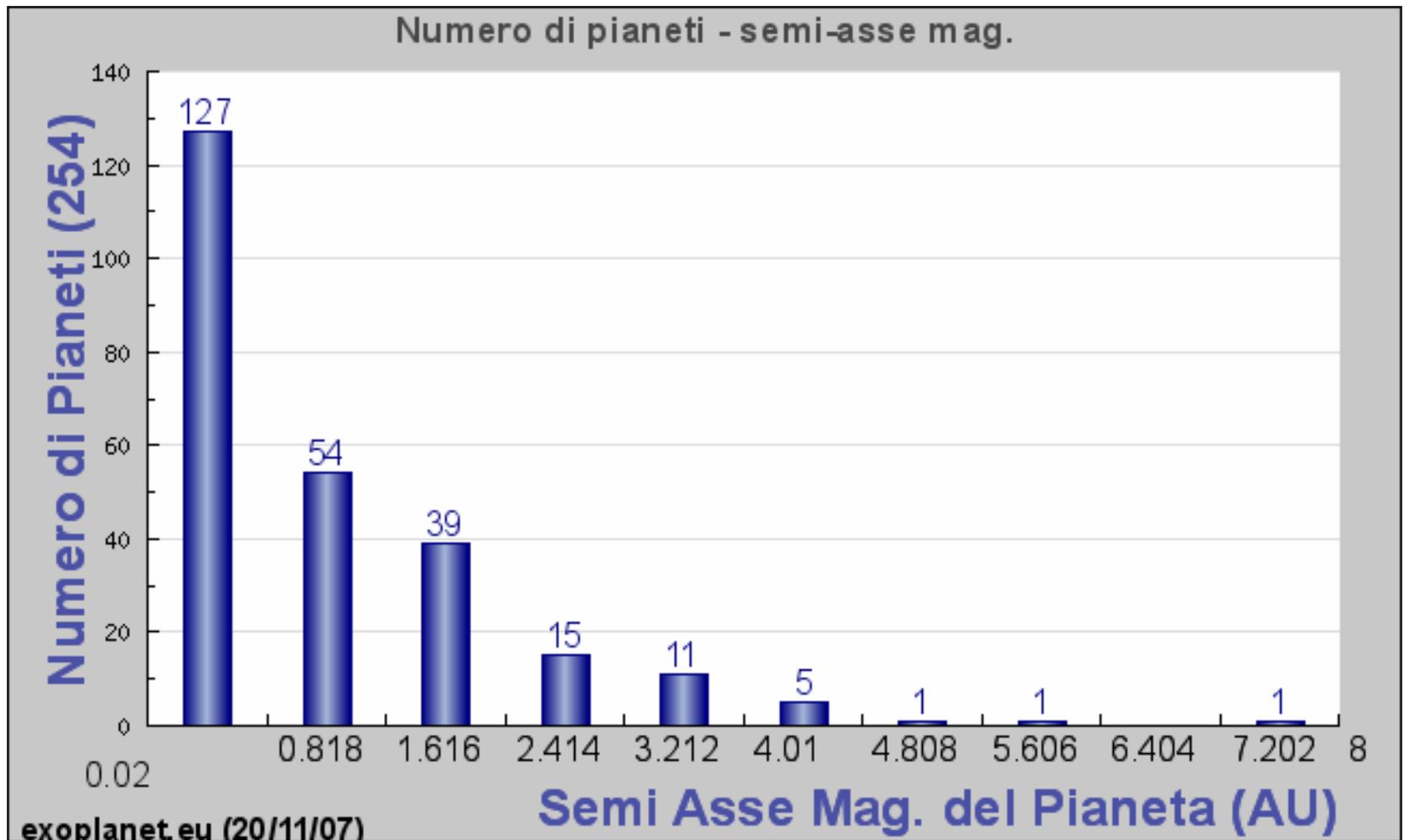


La massa di tutti i pianeti scoperti con questo metodo è più grande di quella della Terra e i tre quarti possono arrivare a 4 masse gioviane

$$6 M_{\text{TERRA}} \quad M_{\text{PIANETA}} < 4 M_{\text{GIOVE}}$$



La quasi totalità dei pianeti orbita attorno alla propria stella a una distanza inferiore a quella di Giove dal Sole e la metà di essi a una distanza dell'ordine di quella di Venere o minore.



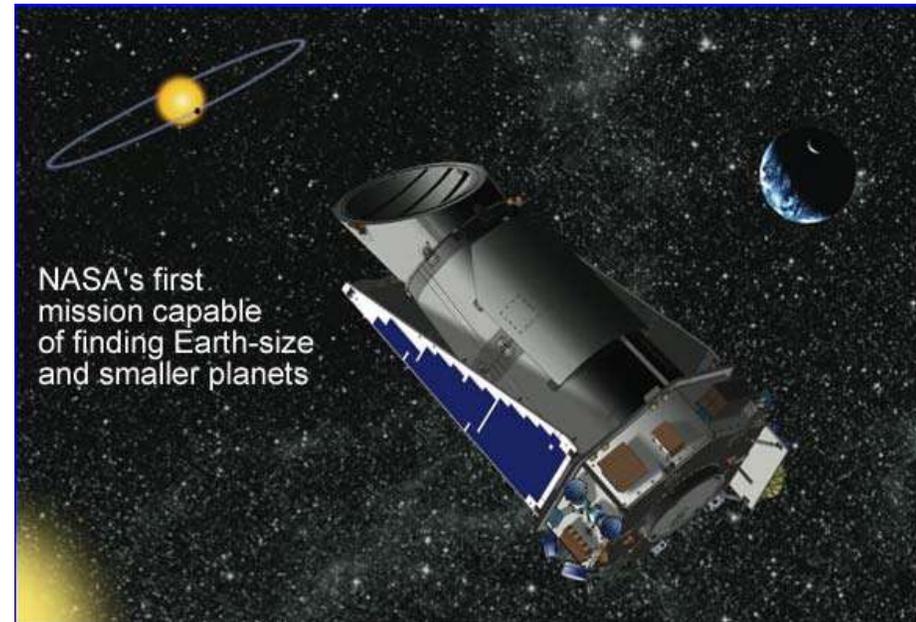
Accanto alla statistica sui pianeti trovati c'è quella relativa alle persone che li cercano: sono suddivise in due categorie, a seconda che le indagini siano svolte con strumentazioni a terra oppure con satelliti artificiali nello spazio.

Attualmente i centri registrati per la ricerca al suolo sono 67, dei quali 50 già in attività e 21 di essi hanno scoperto almeno un pianeta.

I centri registrati per la ricerca nello spazio sono 18, dei quali 5 lavorano con satelliti già lanciati e operativi, 3 hanno il lancio programmato entro il 2011, 6 lo stanno progettando. Dei satelliti già in orbita, due hanno individuato pianeti extrasolari con i metodi della fotometria (transiti) e dell'astrometria (HST: un pianeta).

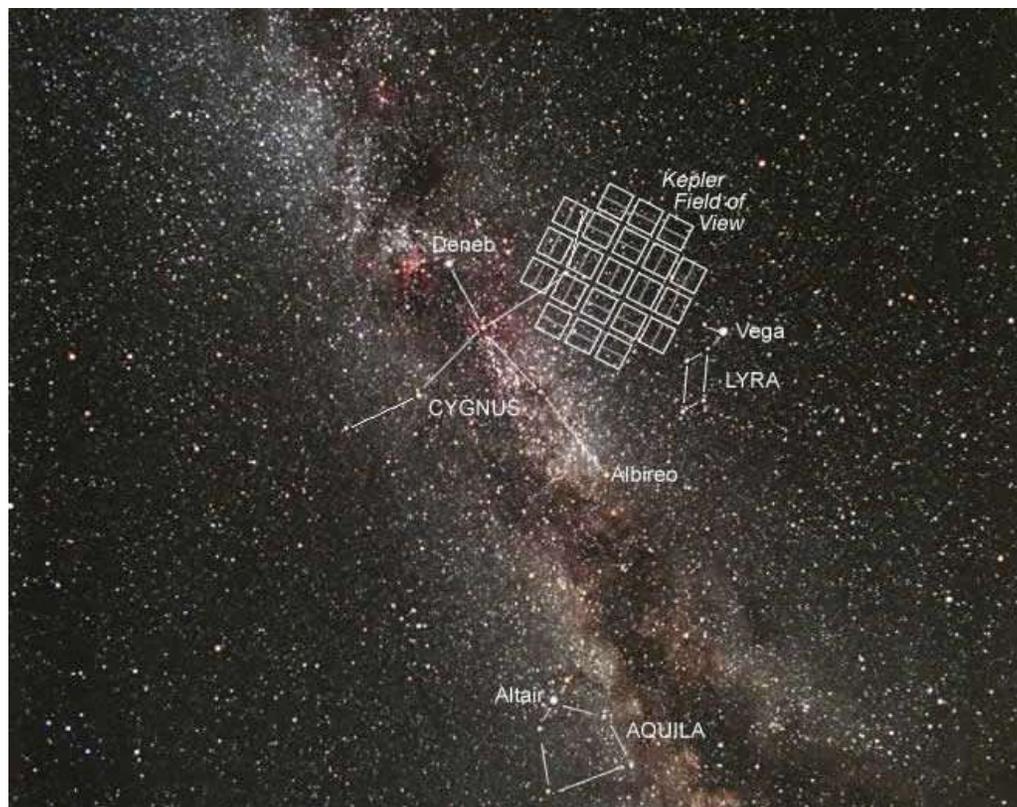
Kepler Mission

Fra i progetti annunciati per i prossimi anni merita un cenno di attenzione, a mio avviso, questo della NASA, che prevede il lancio del satellite KEPLER nel giugno 2008. La navicella, illustrata nel disegno, sarà equipaggiata con un fotometro ad alta sensibilità che punterà costantemente verso una regione dell'emisfero boreale fra la costellazione del Cigno e quella della Lira come



mostra la nuova immagine. Il fotometro monta 42 elementi CCD, ciascuno dei quali coprirà un determinato rettangolino della zona di cielo interessata. La missione durerà quattro anni, durante i quali saranno osservate centomila stelle simili al Sole, anche in sistemi binari, per accertare con il ‘metodo dei transiti’ la presenza di eventuali pianeti.

Lo scopo principale della missione sarà stabilire



se fra questi vi siano pianeti di tipo terrestre, soprattutto nella fascia di distanze dalla stella madre, più adatte alla presenza della vita (zona di abitabilità).

Secondo stime ottimali, i ricercatori della NASA contano di individuare una cinquantina di pianeti, con più o meno le stesse caratteristiche della Terra, e circa 800 di dimensioni maggiori, con $R_{\text{TERRA}} < R_{\text{PIANETA}} < 2 R_{\text{TERRA}}$. Assicurano però di essere anche preparati a ogni imprevisto, non escluso quello di non trovare pianeti terrestri: significherebbe che la presenza della vita sulla Terra è un evento molto raro nell'Universo.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

1. The Project Physics Course, Unità 2 “*Moto nei cieli*”, Zanichelli, Bologna, 1970, Lettura N. 5
2. M. S. Longair, “*Astrofisica*”, Bollati Boringhieri, Torino, 2004, Introduzione di P. Galeotti
3. A. e C. Cora, “*L’Atlante Celeste di l’astronomia*”, Torino, 1988
4. Collins Gem, “*Cielo stellato*”, Vallardi Editore, Milano, 2002
5. M. A. C. Perryman, “*Extra-solar planets*”, Rep. Prog. Phys. 2000, Vol. 63, 1209-1272
6. “*Two Extremely Hot Exoplanets Caught in Transit*”, ESO Press Release 11/04

7. P. R. Mc Cullough et alii, “*A Transiting Planet of a Sun-like Star*”
Astrophysical Journal 2006.09.01
8. W. Riva, “*Pianeti extrasolari: lo stato dell’arte*”, l’astronomia,
n. 234, agosto-settembre 2002, pag. 18
9. R. Claudi, “*Transiti planetari: parte il progetto RATS*”, le Stelle,
n. 28, aprile 2005, pag. 36
10. R. Naeye ed E. L. Aguirre, “*Pianeti extrasolari: è l’ora degli
astrofili*”, le Stelle, n. 33, ottobre 2005, pag. 26
(da Sky&Telescope, traduzione di C. Guaita)
11. M. Cagnotti, “*Il primo pianeta extrasolare di taglia terrestre*”,
le Stelle, n. 38, marzo 2006, pag. 9

12. S. Seager, “*Svelare mondi lontani*”, le Stelle, n. 38, marzo 2006, pag.28 (da Sky&Telescope, traduzione di G. Galli)
13. G. Laughlin, “*Cacciatori virtuali di pianeti*”, le Stelle, n. 46, dicembre 2006, pag. 36 (da Sky&Telescope, traduzione di L. Pizzimenti)
14. M. Di Martino, “*La prima foto in ottico*”, le Stelle, n. 30, giugno 2005, pag. 11

SITI WEB

1. planetquest.jpl.nasa.gov/science/finding_planets.cfm
2. planetquest.jpl.nasa.gov/Keck/keck_index.cfm
3. planetquest.jpl.nasa.gov/Kepler/kepler_index.cfm
4. Extrasolar Planets Encyclopaedia: <http://exoplanets.eu>
5. Anglo-Australian Planet Search
6. European Southern Observatory (ESO)

ZONA DI ABITABILITA'

Regione dell'Universo nella quale sono soddisfatte le condizioni fisiche necessarie allo sviluppo della vita, così come la conosciamo sulla Terra.

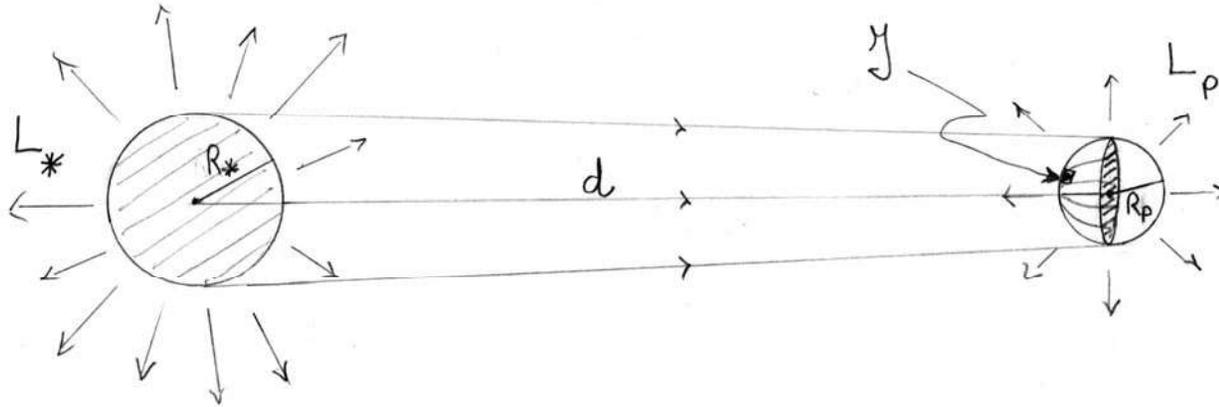
Alcune ipotesi necessarie:

1. sui pianeti devono essere possibili i processi associati alla chimica del carbonio;
2. occorre la presenza di liquidi per favorire la mobilità delle molecole e, in particolare, occorre l'acqua perché costituisce un ottimo solvente.

Quindi, di conseguenza, i pianeti devono:

3. percorrere orbite poco eccentriche attorno a stelle della sequenza principale nel diagramma HR (come il Sole, nel cui nocciolo le reazioni nucleari avvengono in modo regolare e costante per miliardi di anni);
4. essere solidi (non gassosi come Giove), per assicurare la presenza di interfacce solido-liquido che favoriscono gli interscambi fra molecole;
5. essere a una adeguata distanza dalla stella, per garantire temperature adatte allo stato liquido dell'acqua.

Individuazione della zona di abitabilità

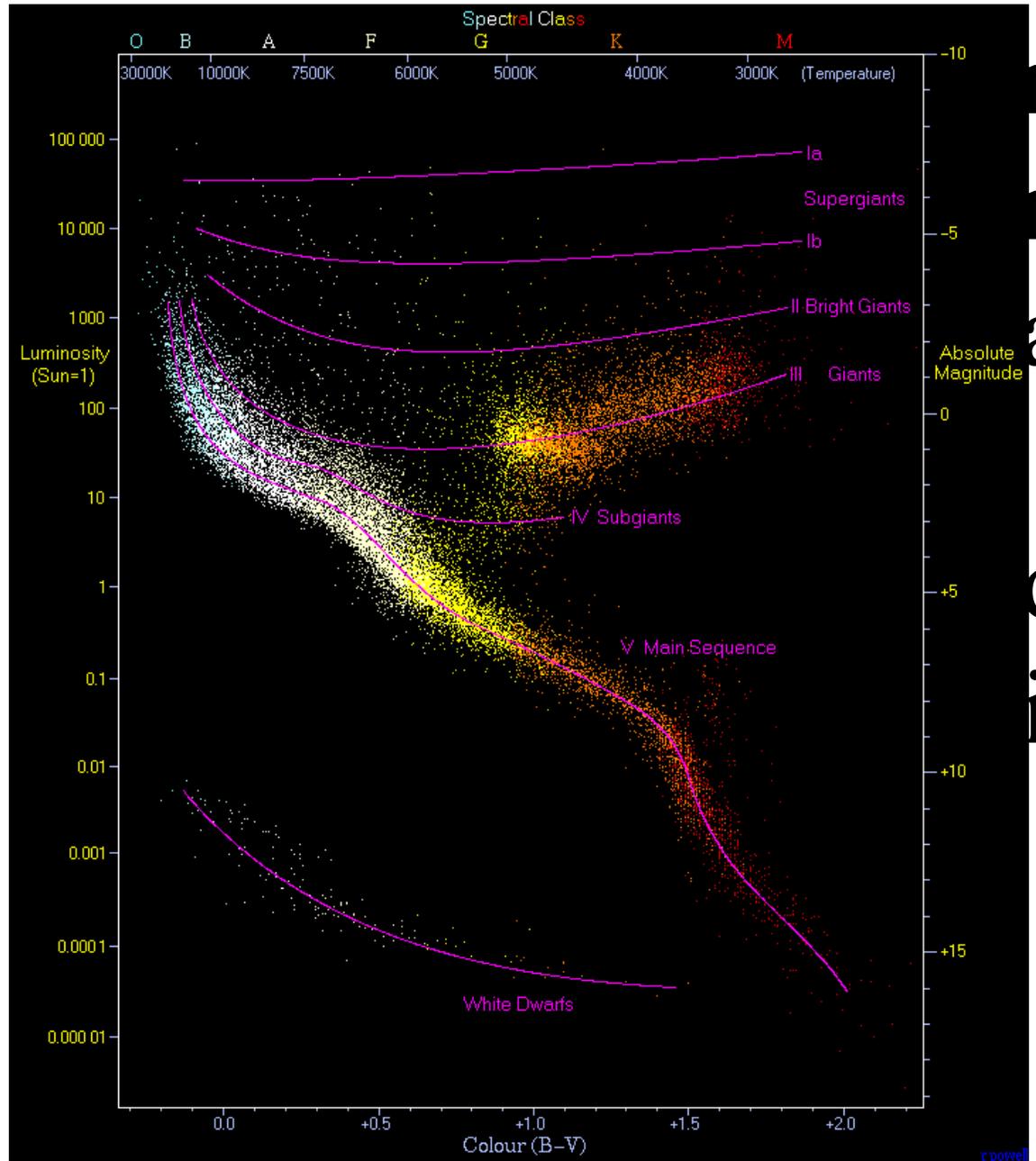


$$L_{ST} = \sigma T_{ST}^4 \cdot 4\pi R_{ST}^2, \quad I = L_{ST} / 4\pi d^2, \quad Pt_{ricevuta} = (1-A)I \cdot \pi R_{PI}^2$$

$$Pt_{riemessa} = \sigma T_{PI}^4 \cdot 4\pi R_{PI}^2, \quad Pt_{riemessa} = Pt_{ricevuta} \quad (\text{equilibrio})$$

$$T_{PI}^4 = (1-A)T_{ST}^4 R_{ST}^2 / 4 d^2, \quad d = (1-A)^{1/2} (T_{ST} / T_{PI})^2 R_{ST} / 2$$

Diagramma di Hertzsprung-Russel



Supponendo $A = 0,35 = A_{\text{TERRA}}$, risulta $(1-A)^{1/2} / 2 \approx 0,4$

$$d \approx 0,4 R_{\text{ST}} (T_{\text{ST}}/300)^2$$

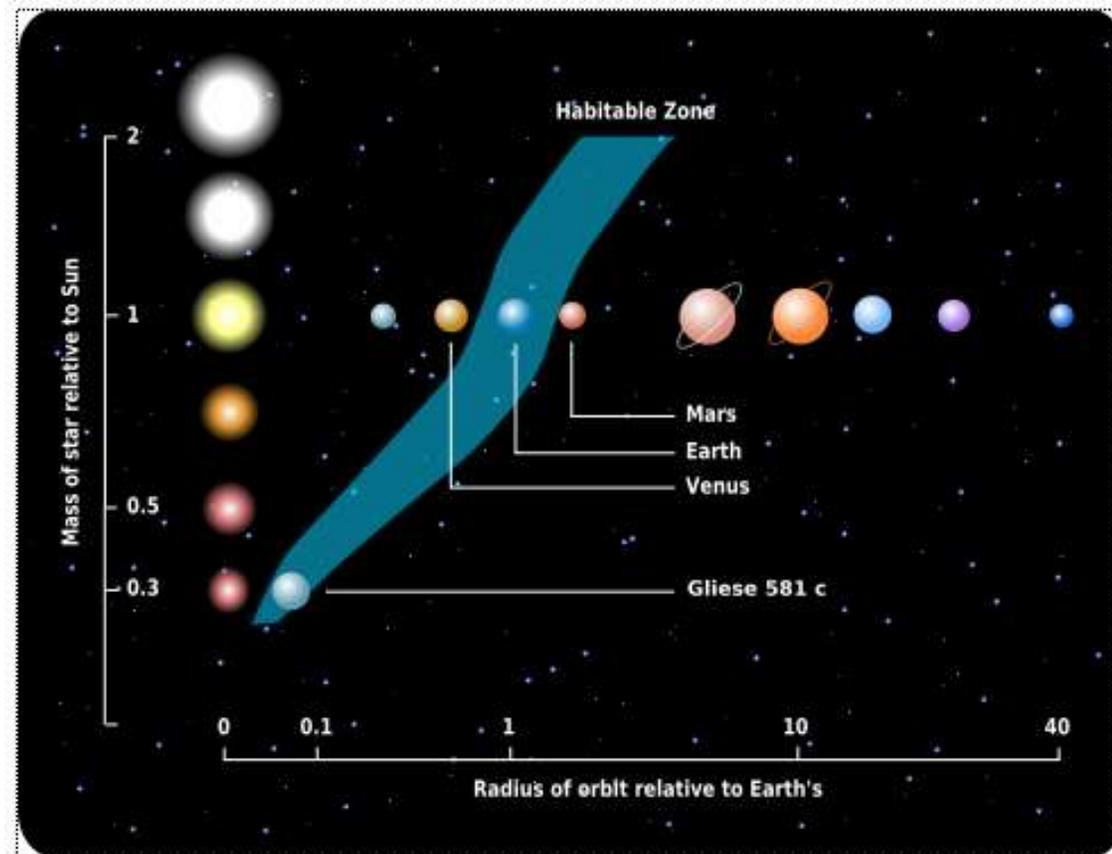
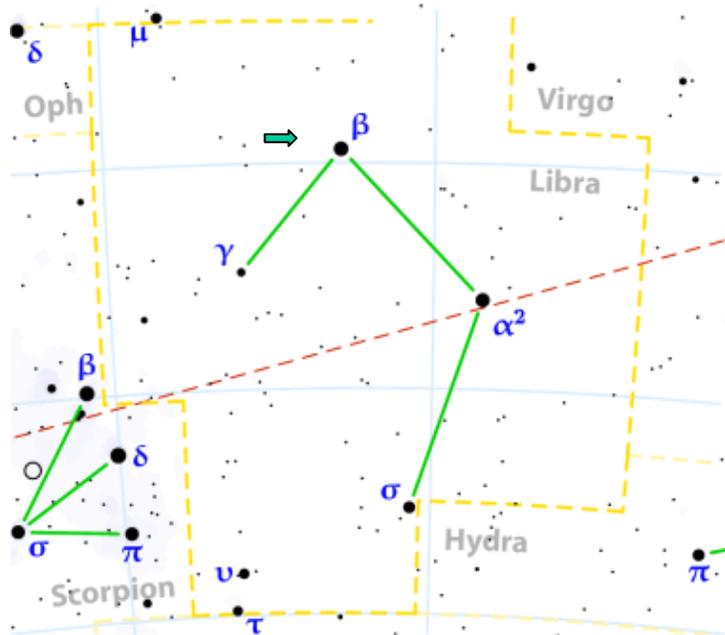
a) $T_{\text{ST}} = 3000 \text{ K}$, $R_{\text{ST}} \approx 0,2 R_{\text{SOLE}} = 1,4 \cdot 10^5 \text{ km}$

$$d \approx 8 R_{\text{SOLE}} \approx 4 \cdot 10^{-2} \text{ UA}$$

b) $T_{\text{ST}} = 6500 \text{ K}$, $R_{\text{ST}} \approx R_{\text{SOLE}} = 7 \cdot 10^5 \text{ km}$

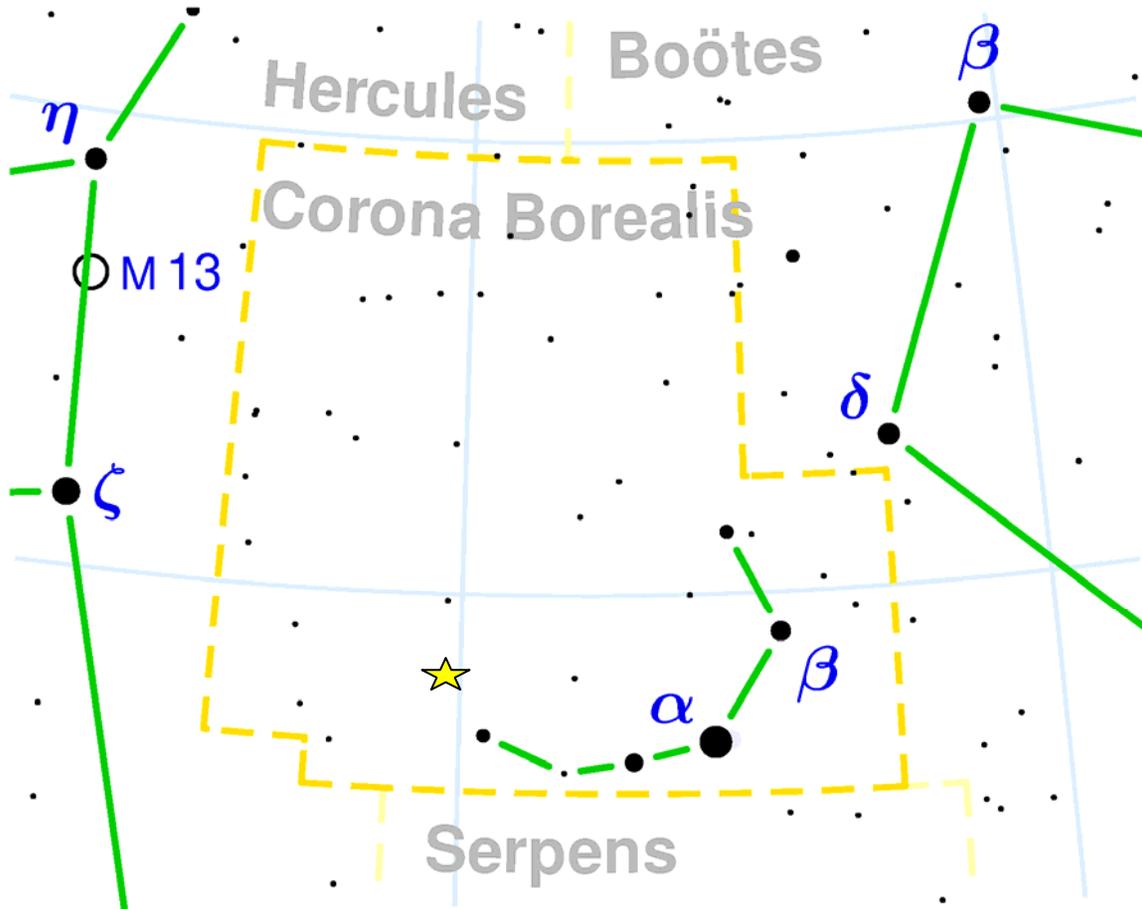
$$d \approx 190 R_{\text{SOLE}} \approx 0,8 \text{ UA}$$

Il pianeta Gliese 581c



UN PIANETA DELLA STELLA XO-1

(distanza dalla Terra: 650 al)



Dalle osservazioni risulta che la stella è molto simile al Sole:

$$M_{ST} \cong M_{SOLE} = 2 \cdot 10^{30} \text{ kg} , \quad T_{\text{eff}} = 5750 \text{ K}$$

$$R_{ST} \cong 0,93 R_{SOLE} \cong 6,46 \cdot 10^5 \text{ km}$$

Le orbite, del pianeta e della stella, sono supposte circolari.

Il periodo è $T = 3,94$ giorni $= 3,40 \cdot 10^5$ s.

La diminuzione d'intensità luminosa (flusso), durante il transito del pianeta davanti all'astro, è del 2,1 % .

La velocità radiale della stella è $v_{ST} \cong 120$ m/s

1) Raggio dell'orbita del pianeta

terza legge di Keplero: $r_{\text{PI}}^3 / T^2 \cong GM_{\text{ST}} / 4\pi^2$

$$r_{\text{PI}}^3 = 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 2 \cdot 10^{30} (3,40 \cdot 10^5)^2 / 4\pi^2 = 3,92 \cdot 10^{29} \text{ m}^3$$

$$r_{\text{PI}} = 7,32 \cdot 10^9 \text{ m} = 4,88 \cdot 10^{-2} \text{ UA} = 9,4 \cdot 10^{-3} r_{\text{GIOVE}}$$

2) Velocità del pianeta

$$v_{\text{PI}} = 2\pi r_{\text{PI}} / T = 2\pi \cdot 7,32 \cdot 10^9 / 3,40 \cdot 10^5 = 1,35 \cdot 10^5 \text{ m/s}$$

3) Massa del pianeta e raggio orbitale della stella

Nel sistema del centro di massa (SCM) valgono le relazioni:

$$M_{PI} r_{PI} + M_{ST} r_{ST} = 0 \quad (1), \quad M_{PI} v_{PI} + M_{ST} v_{ST} = 0 \quad (2)$$

Dalla (2) si ricava M_P :

$$M_{PI} = M_{ST} |v_{ST} / v_{PI}| = 2 \cdot 10^{30} \cdot 120 / 1,35 \cdot 10^5 \cong 1,8 \cdot 10^{27} \text{ kg}$$

Dalla (1) si ricava R :

$$r_{ST} = |r_{PI}| M_{PI} / M_{ST} = 7,32 \cdot 10^9 \cdot 1,8 \cdot 10^{27} / 2 \cdot 10^{30} \cong 6,5 \cdot 10^6 \text{ m} \approx 10^{-2} R_{ST}$$

4) Raggio del pianeta

La diminuzione del flusso luminoso è causata dall'occultazione del 2,1 % del disco stellare da parte del disco del pianeta, quindi le aree dei due dischi stanno fra loro nello stesso rapporto.

$$R_{\text{PI}}^2 / R_{\text{ST}}^2 = 0,021, \quad R_{\text{PI}} = 9,37 \cdot 10^4 \text{ km} = 1,3 R_{\text{GIOVE}}$$

5) Densità media

$$\langle D \rangle = 3 M_{\text{PI}} / 4\pi R_{\text{PI}}^3 = 520 \text{ kg/m}^3 \quad 0,5 D_{\text{ACQUA}}$$

6) Durata del transito

$$r_{PI} = 11,3 R_{PI}$$

$$AH = R_{PI}, \quad AO = r_p$$

$$\text{sen } \varphi = AH / AO$$

$$\text{sen } \varphi = 1/11,3 = 0,0885$$

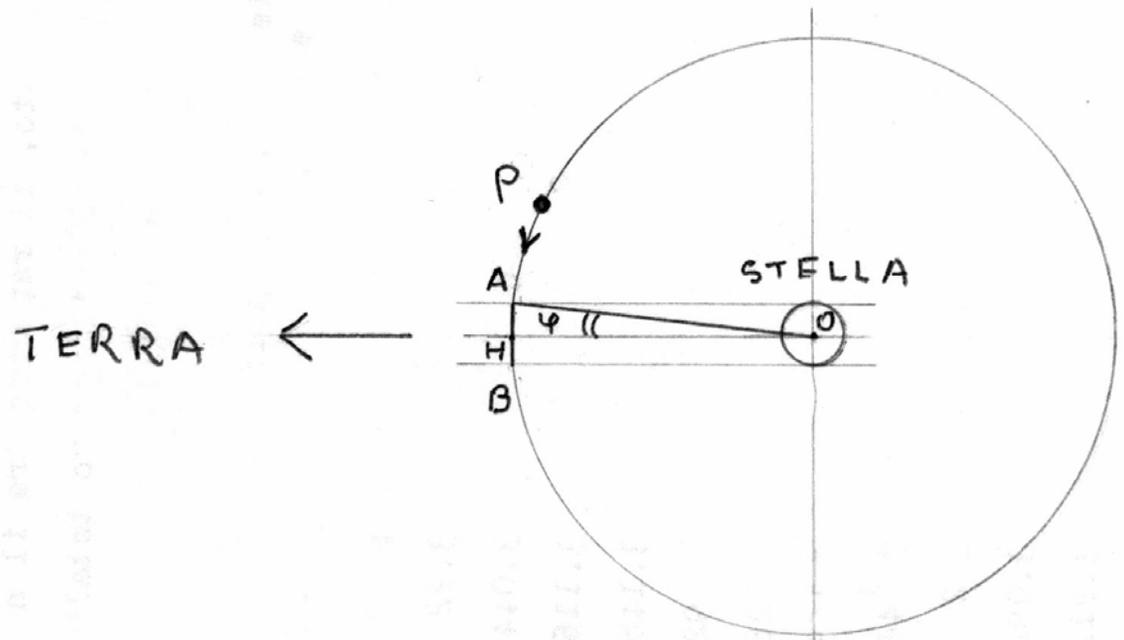
$$\varphi \cong 5,08^\circ, \quad 2\varphi = 10,15^\circ$$

$$\tau = 3,40 \cdot 10^5 \cdot 10,15^\circ / 360^\circ \text{ s}$$

$$\tau = 9600 \text{ s} = 2,67 \text{ ore}$$

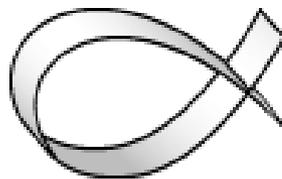
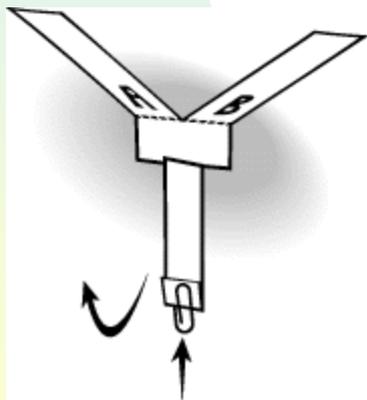
$$(\Delta t = 11,33 \text{ UT} - 8,58 \text{ UT} = 2,75 \text{ ore})$$

(DISEGNO IN SCALA)

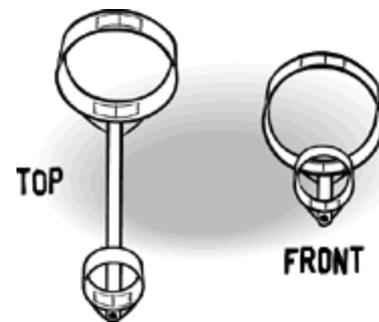


Corso AIF - sezione di Mantova - a.s. 2007-08
“MA CHE MOTI SONO?”

STUDIO DEL MOTO DI SEMPLICI OGGETTI VOLANTI



Luigi Togliani



Liceo Scientifico “Belfiore” Mantova

6 febbraio 2008

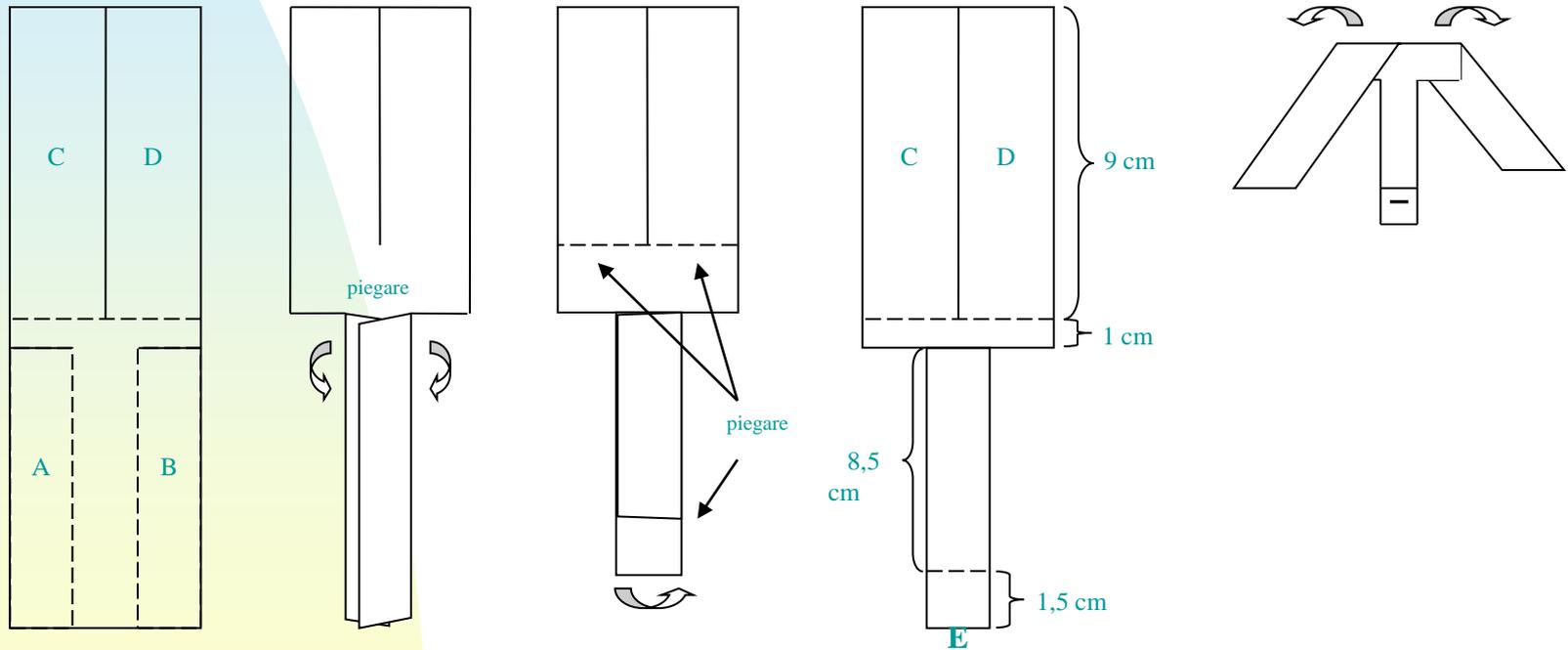
Alcuni semplici oggetti volanti

- **ELICOTTERO (paper helicopter)**
- **AEROPLANO (hoopster)**
- **DIRIGIBILE (spinning blimp)**



Che cos'è un elicottero di carta

Metodo di costruzione



Elicotteri: scopo degli esperimenti

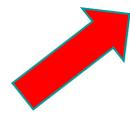
Studiare il moto di caduta
di un elicottero di carta nell'aria



Elicotteri: metodologia

• **GARE TRA ELICOTTERI** - esperienze qualitative

• **ESPERIMENTI**



ANALISI con SISTEMA ON LINE

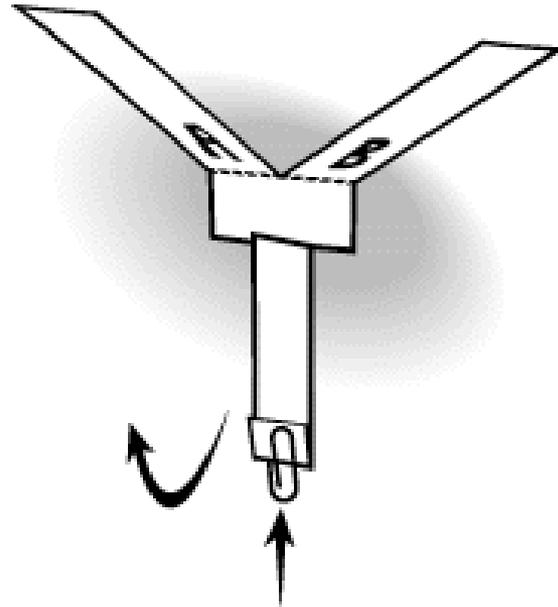


ANALISI con il SW TRACKER

Elicotteri: gare di velocità

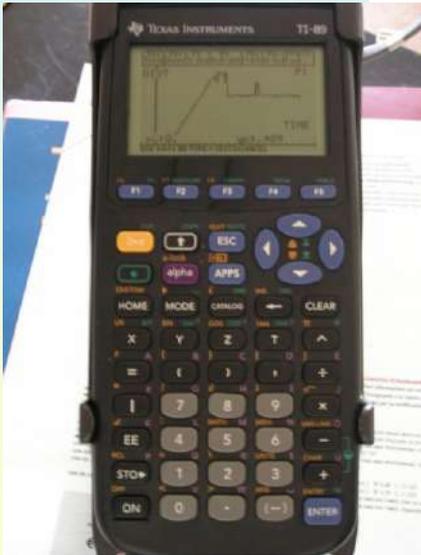
Quale elicottero arriva prima al suolo al variare della:

- **lunghezza delle ali?**
- **massa in caduta?**



Elicotteri: apparato sperimentale e sistema on line

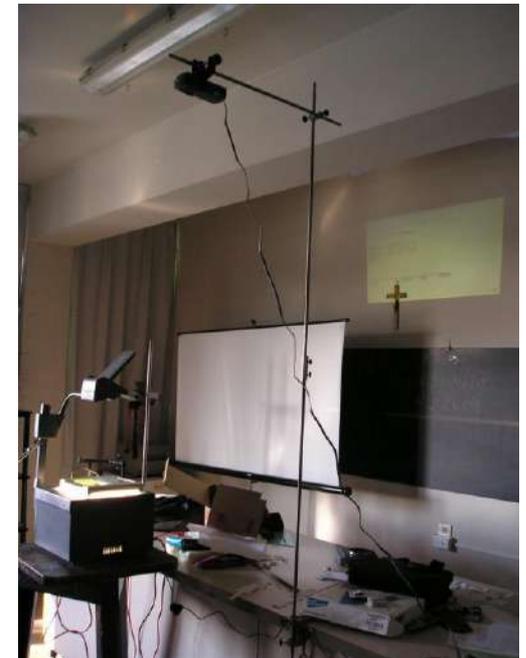
Calcolatrice TI-89
e interfaccia CBL



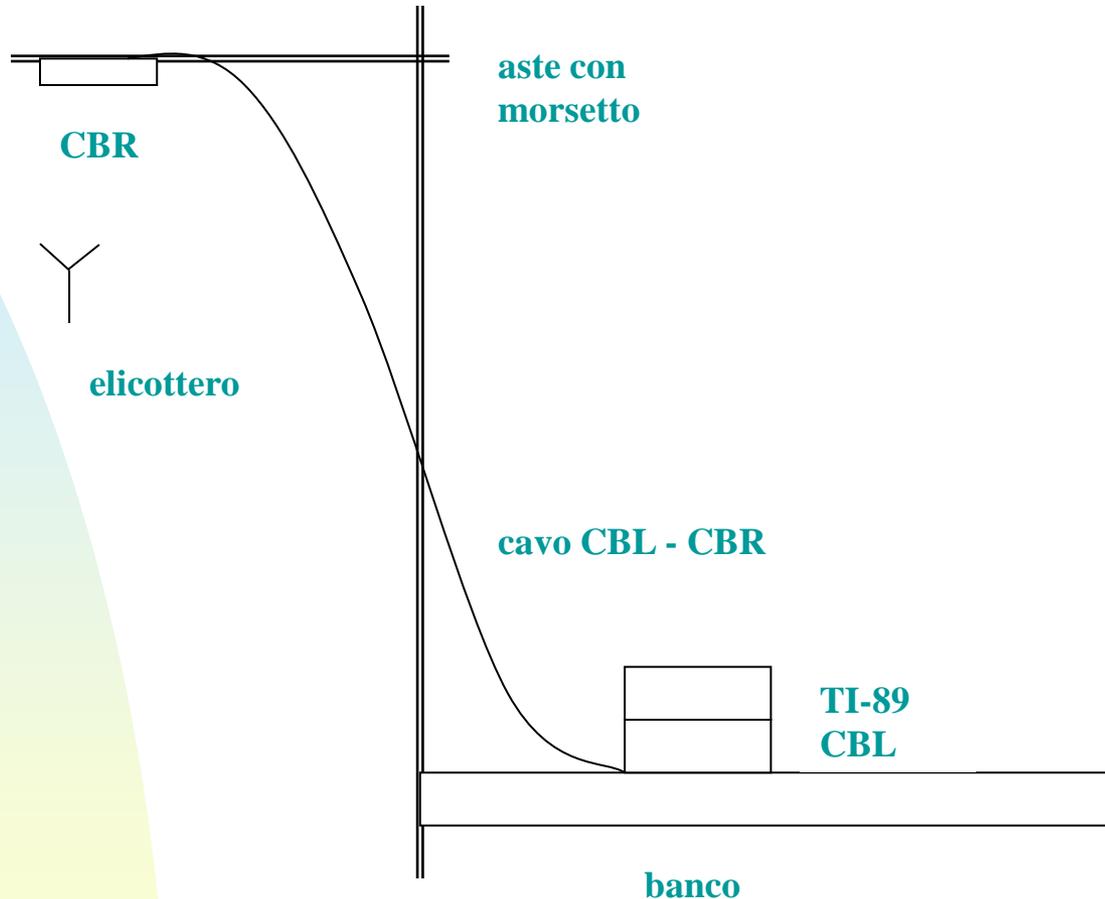
Sonda di posizione
CBR



Apparato con
view-screen



Elicotteri: apparato sperimentale



Apparato sperimentale per studiare il moto degli elicotteri

Elicotteri: apparato sperimentale e sistema on line di rilevazione dei dati

- Lancio del software **Physics** della **Vernier** (versione Delfitto-Ragazzini)
- da Main Menu **1: set up probes** (scegliere quante e quali sonde usare)
 - 1: one** (una sola sonda)
 - 1: motion** (per la sonda CBR per analizzare il moto)
 - 1: use stored** (per la calibratura)
- da MAIN Menu **2: collect data** (preparare la sonda per la raccolta dati)
 - 2: time graph** (per avere il grafico $s = s(t)$)
 - enter time between two samples in seconds** (per l'intervallo tra due rilievi consecutivi, ad es. 0.02 s)
 - number of samples** (per il numero di rilievi, ad es. 100)
 - experiment length** (per la durata dell'esperimento)
 - 1: use time setup** (senza modificare i valori impostati).

Appare il messaggio: **ready equipment. press [enter] to begin collecting data.**

Elicotteri: come analizzare i dati

Dal menù Select Graph l'opzione:

4: distance

Se il grafico è soddisfacente si sceglie

7: return

per tornare al Main Menu. Rispondendo no alla richiesta di ripetere l'esperienza si può ripartire per un altro esperimento.

Per salvare i dati, da Main Menu abbiamo seguito la sequenza:

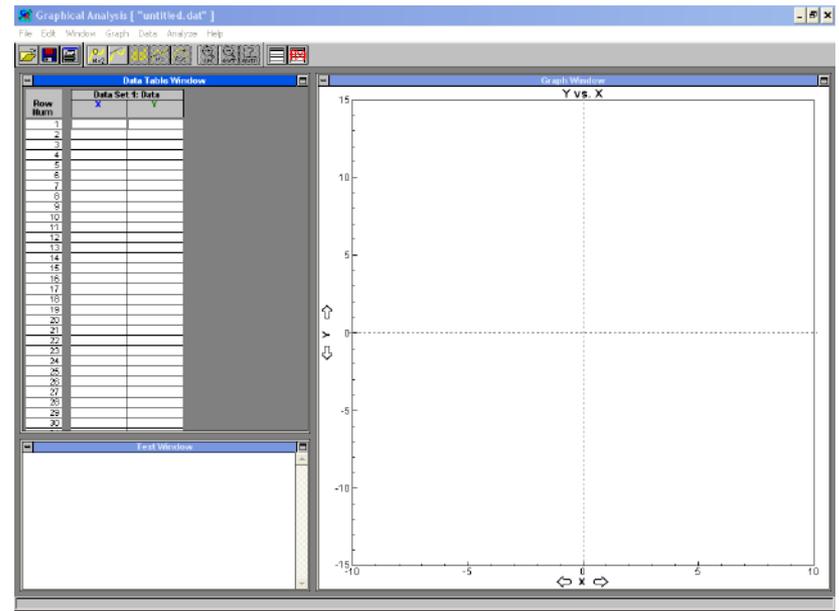
7: SAVE/DELETE

1: SAVE .

Nella schermata si è scelta l'opzione *else* per dare un nome al file di dati (*variable*)

Elicotteri: come analizzare i dati

TI-89 $\Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow$ PC + GRAPHICAL ANALYSIS
cavo GRAPH LINK



Elicotteri: come eseguire l'esperimento

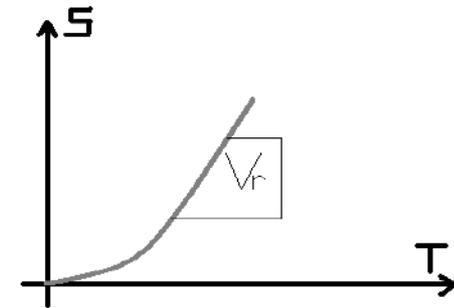
elicottero lasciato andare
da una certa altezza

attivazione simultanea
del sistema on line



Elicotteri: come eseguire l'esperimento

Raggiungimento della **velocità limite** (o di regime) dell'elicottero in caduta.



Studiare come la **velocità limite** dipenda da:

- **la lunghezza delle ali (o la loro superficie)**
- **la massa in caduta**

Elicotteri: velocità e lunghezza delle ali

Elicotteri con ali di lunghezza variabile.

Massa media elicottero:

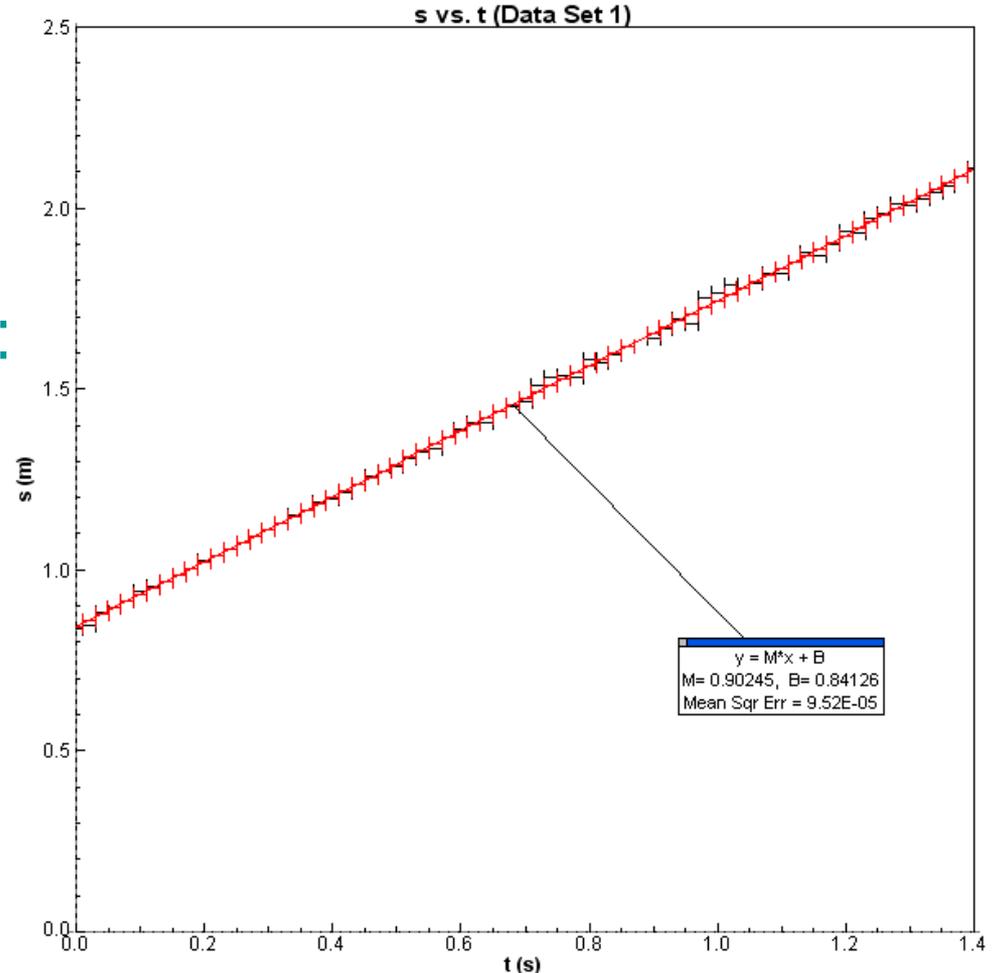
$$m = (0,98 \pm 0,02)g$$

Esempio:



ali: $(8,0 \pm 0,1)$ cm

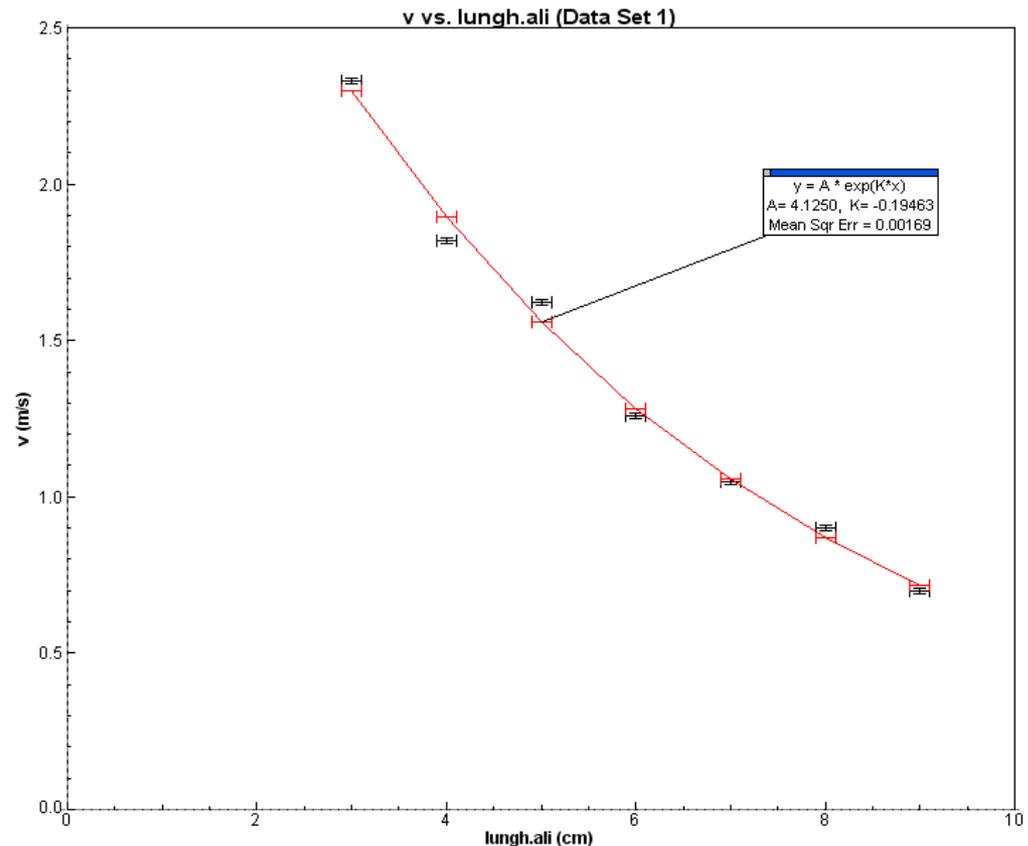
velocità: 0,90 m/s.



Elicotteri: velocità e lunghezza delle ali

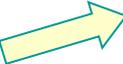
LUNGH. ALI (cm)	VELOCITÀ LIMITE (m/s)
3,0±0,1	2,33±0,02
4,0±0,1	1,82±0,02
5,0±0,1	1,62±0,02
6,0±0,1	1,26±0,02
7,0±0,1	1,05±0,02
8,0±0,1	0,90±0,02
9,0±0,1	0,70±0,02

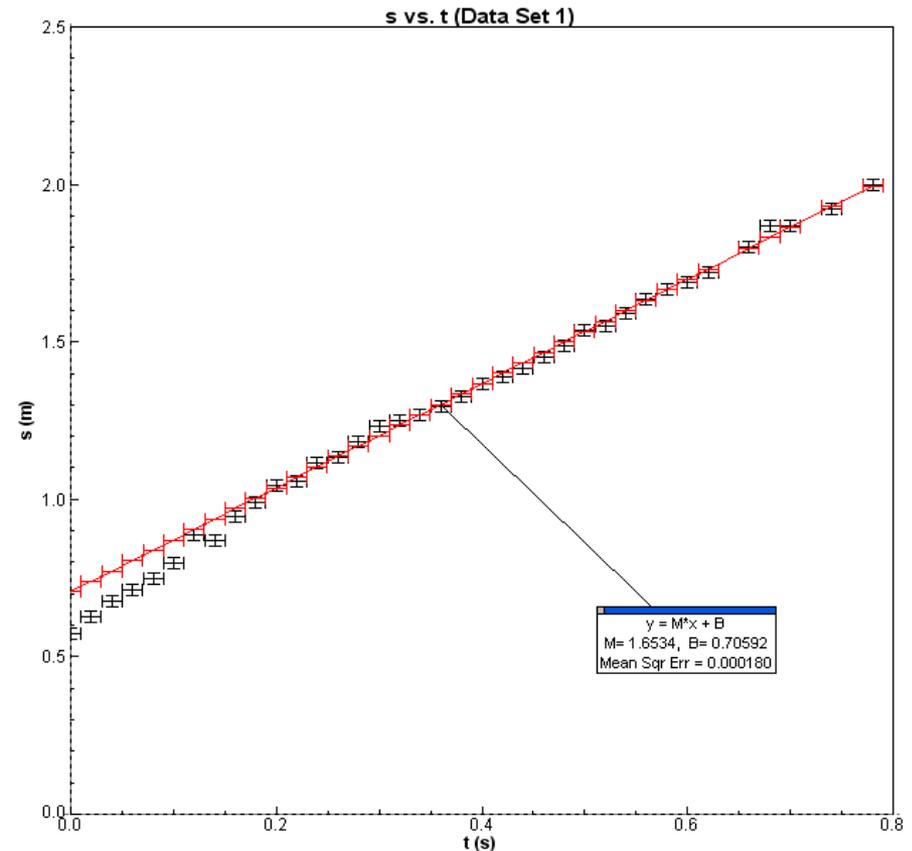
Ipotesi: $v = A \cdot e^{K \cdot L}$



Elicotteri: velocità e massa in caduta

Elicottero con lunghezza ali $(8,0 \pm 0,1)$ cm con uno o più fermagli da $(0,58 \pm 0,01)$ g l'uno sulla coda.

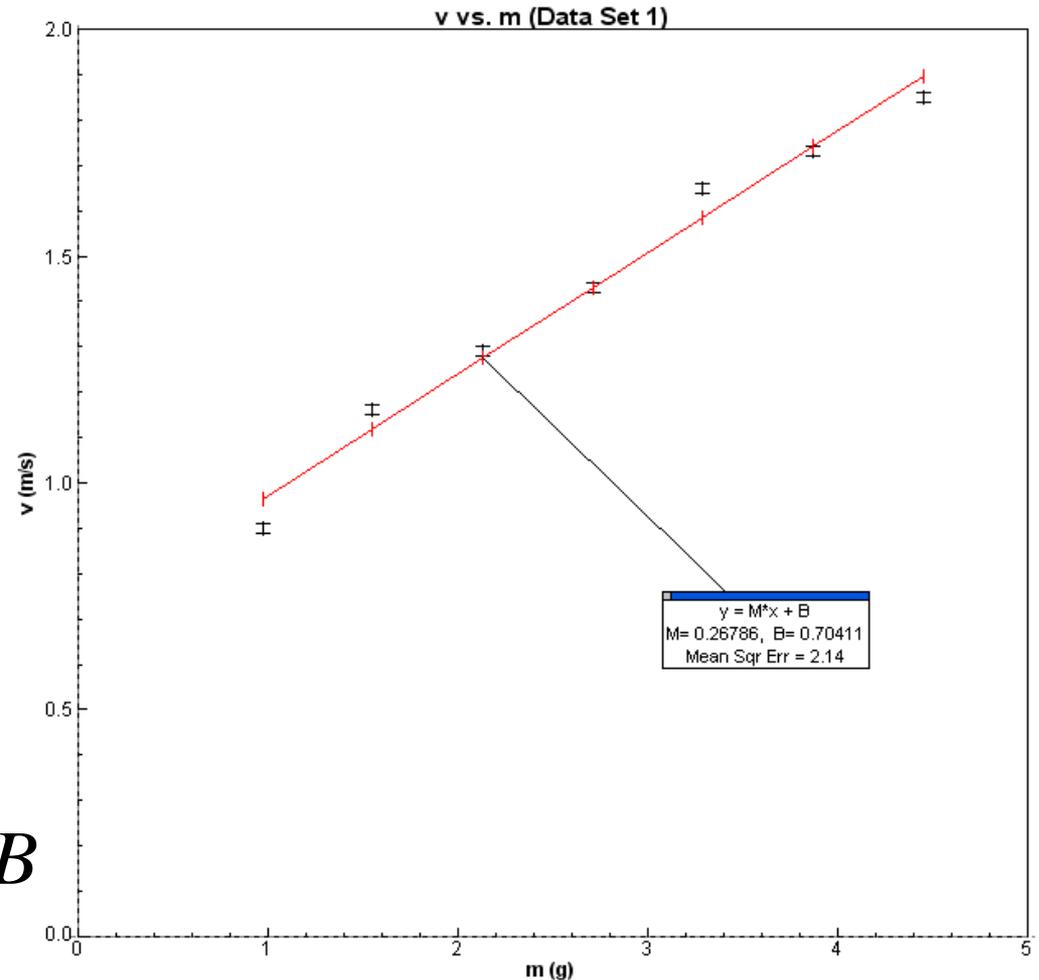
Esempio: massa totale: 
 $(3,29 \pm 0,05)$ g (4 fermagli)
velocità lim.: $(1,65 \pm 0,02)$ m/s



Elicotteri: velocità e massa in caduta

m (g)	v (m/s)
0,97±0,01	0,90±0,02
1,55±0,02	1,16±0,02
2,13±0,03	1,29±0,02
2,71±0,04	1,43±0,02
3,29±0,05	1,65±0,02
3,87±0,06	1,73±0,02
4,45±0,07	1,85±0,02

Ipotesi: $v = M \cdot m + B$



Elicotteri: errori sperimentali (metodo on line)

- Necessità di un intervallo di almeno 0,02 s tra due rilievi per evitare che l'elaboratore vada in saturazione.
- Le onde emesse da CBR possono non colpire l'ala dell'elicottero ma arrivare fino a terra, registrando quindi la distanza della sonda dal pavimento.
- Il moto degli elicotteri può essere turbato da variazioni di temperatura o da lievi correnti d'aria.
- Possibili oscillazioni nel braccio dello sperimentatore addetto allo sgancio dell'elicottero.
- Mancanza di coordinazione dell'addetto allo sgancio dell'elicottero con l'addetto alla calcolatrice.

Una prova con un elicottero più grande

Elicottero con lunghezza ali $(12,0 \pm 0,1)$ cm, simile a quello da $(8,0 \pm 0,1)$ cm. Massa $(2,24 \pm 0,02)$ g .

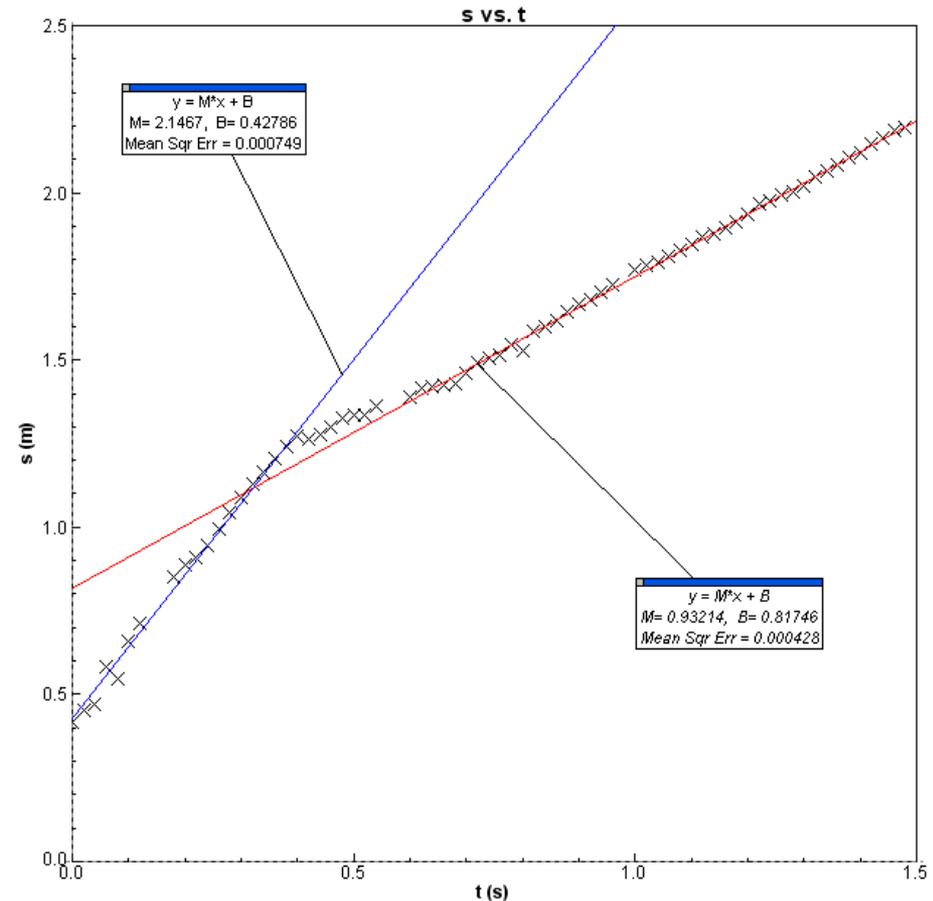
Rapporto similitudine: $3/2$.

Rapporto masse: $9/4$.

DUE velocità limite:

$(2,14 \pm 0,02)$ m/s

$(0,92 \pm 0,02)$ m/s .

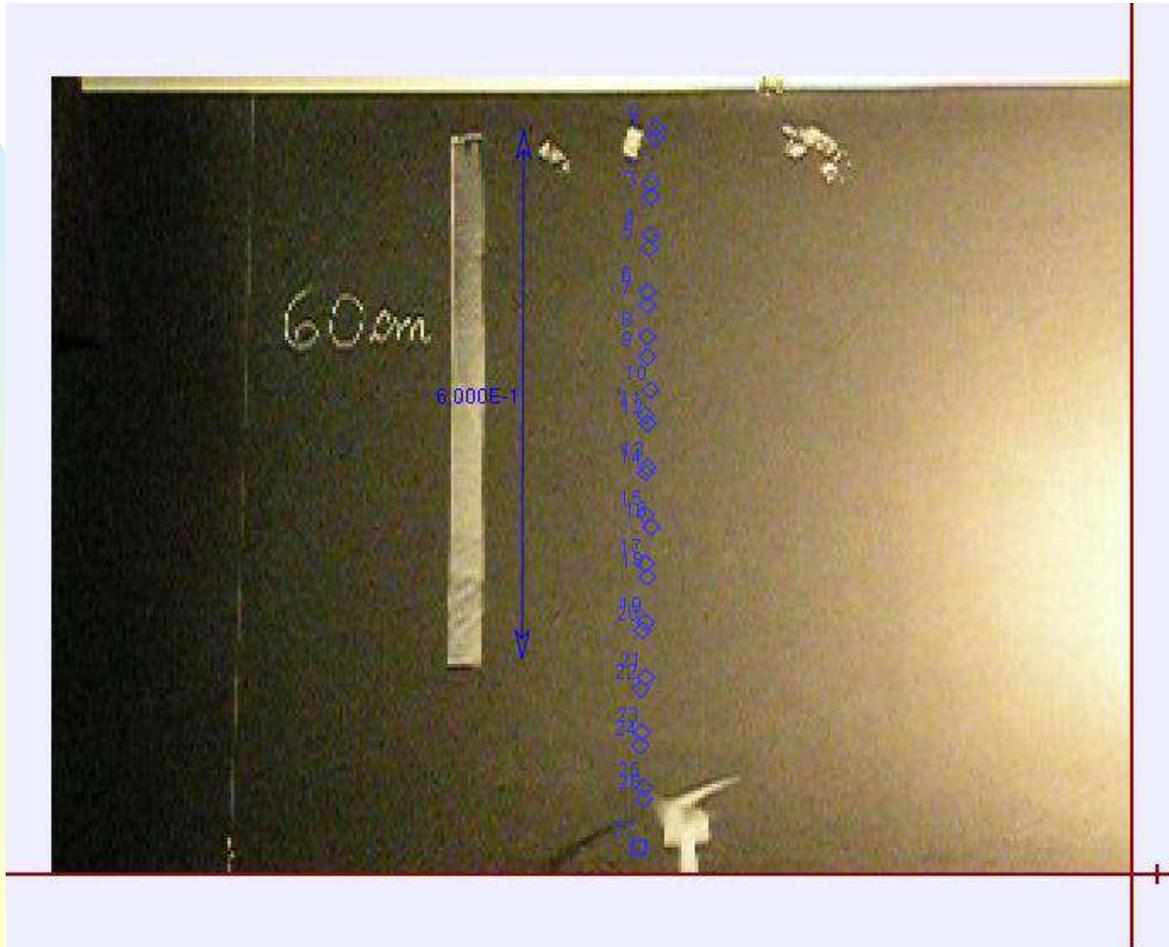


Elicotteri: uso del sw TRACKER

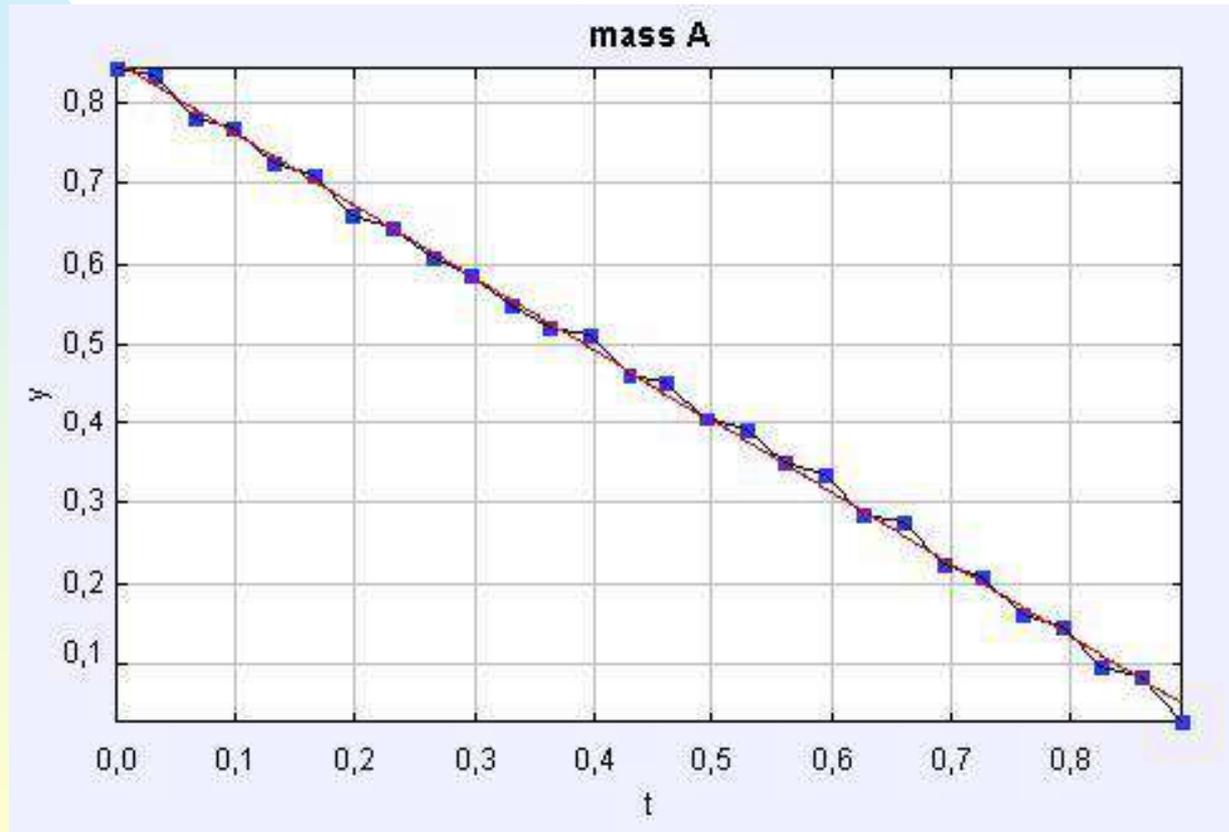
- **ripresa con videocamera**
- **trasferimento del file su pc**
- **apertura del file dal sw Tracker**
- **analisi del filmato**
- **calcolo della velocità di regime dell'elicottero usando il menu di analisi presente in Tracker**



Elicotteri: analisi film con TRACKER



Elicotteri: grafico orario con TRACKER



Elicotteri: errori sperimentali (tracker)

- **Misuratore di lunghezza ed elicottero non sullo stesso piano**
- **Leggibilità dell'immagine sui fotogrammi**
- **Difficoltà nella scelta della sorgente di luce**
- **Fluttuazioni orizzontali durante la caduta dell'elicottero**

Elicotteri: spunti teorici

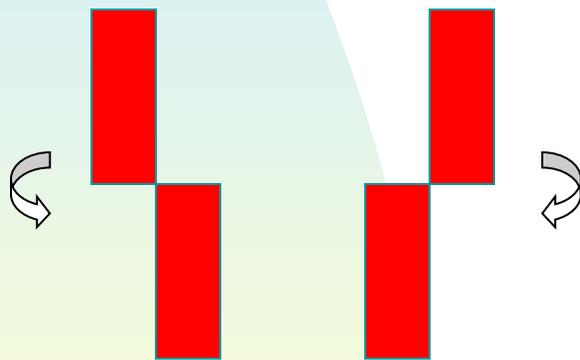
Forze agenti sull'elicottero in caduta:

- 📖 la forza peso, diretta verso il basso;
- 📖 la spinta di Archimede, diretta verso l'alto (probabilmente trascurabile);
- 📖 la forza di attrito viscoso, diretta verso l'alto;
- 📖 la portanza delle ali, diretta verso l'alto.

$F_{ris} = 0$  **caduta a velocità costante**

Elicotteri: spunti teorici

Perché le ali dell'elicottero girano, determinando per esso un moto elicoidale?



coppia

antioraria

coppia

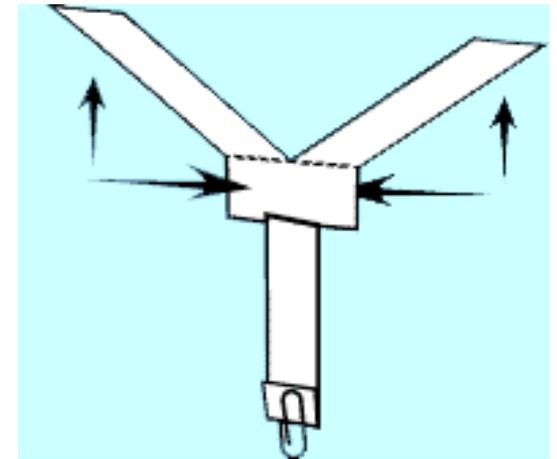
oraria

elicottero visto dall'alto

Forze della coppia: forze di pressione dovute alla diversa velocità dell'aria → per il teorema di Bernoulli, diversità di pressione sull'elicottero → rotazione

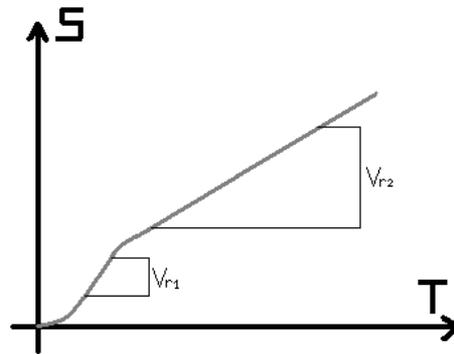
Elicotteri: spunti teorici

Quando l'elicottero cade, l'aria spinge un po' in su le ali e una parte di questa spinta diventa una forza laterale orizzontale agente sul corpo dell'elicottero sotto l'ala stessa. Ogni ala causa la stessa spinta, ma in versi opposti e in punti diversi del corpo dell'elicottero. Le due forze opposte formano la coppia che produce la rotazione.



Elicotteri: spunti teorici

Perché due diverse velocità limite nella caduta dell'elicottero (soprattutto in quello più grande)?



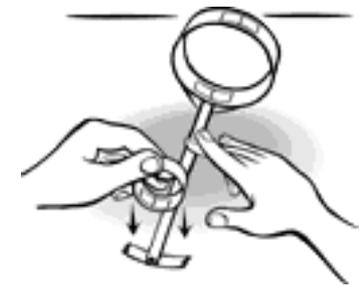
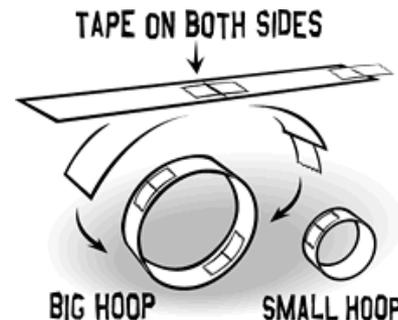
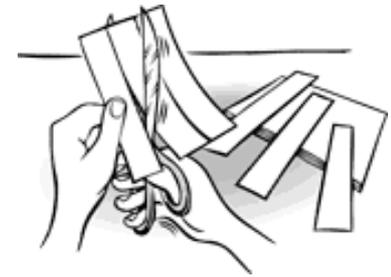
Che cos'è un hoopster

Come si costruisce un aeroplano hoopster

1. Taglia due strisce di cartoncino: una di dimensioni 2,5 cm x 12,5 cm , l'altra da 2,5 cm x 25 cm .

2. Con il nastro adesivo forma con le strisce due cerchi.

3. Applica col nastro adesivo i cerchi alle estremità di un righello (dorsino).



Lancio di un hoopster

Tenendo l'hoopster al centro del righello, con i cerchi verso l'alto, lo si lancia in avanti, osservandone il volo e la traiettoria in particolare. Occorre disporre di spazi ampi.

Si possono fare gare per vedere quale hoopster riesce ad andare più lontano.

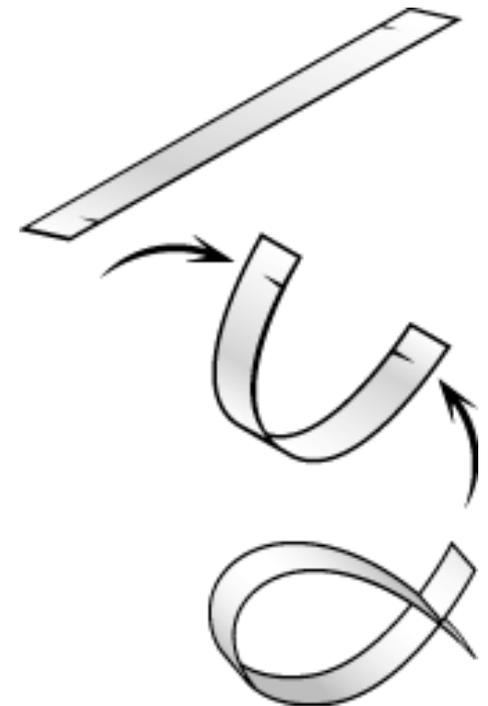


Che cos'è uno spinning blimp

Come si costruisce un 'dirigibile' spinning blimp

1. Taglia una striscia di carta lunga 15 cm e larga 2 cm e produci un taglio vicino ad ogni estremità della striscia.

2. Unisci le due estremità incastrandole nei due tagli prodotti.



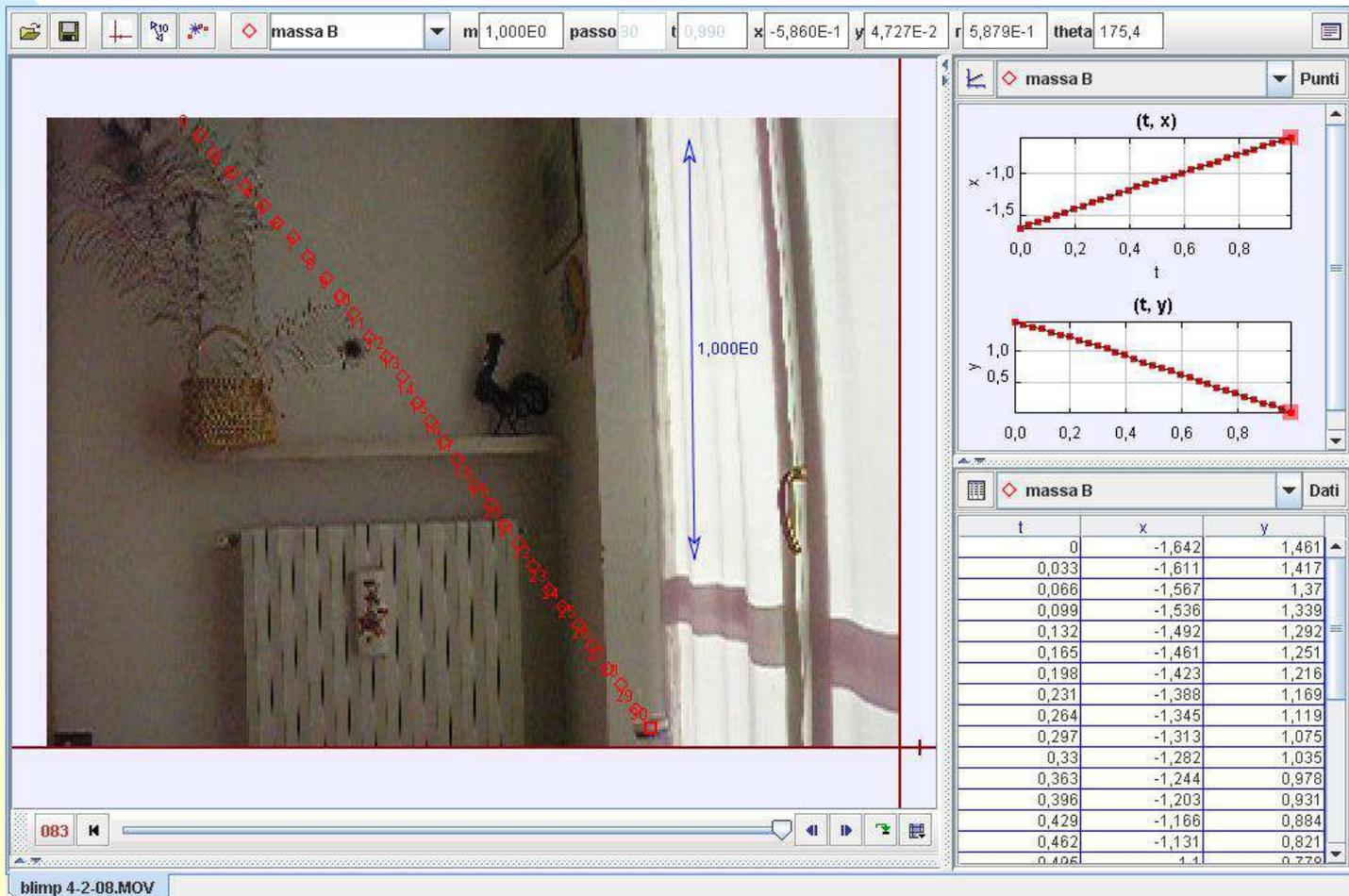
Lancio di uno spinning blimp

Si lancia lo spinning blimp tenendolo per una estremità: l'oggetto comincerà a ruotare su se stesso, anche vorticosamente, mentre scende verso il suolo.

L'effetto è più evidente se la striscia del blimp è stata colorata su una delle sue facce.



Spinning blimp con tracker



Bibliografia

-A. Ward : “Exploring air resistance with paper helicopters”, “Paper helicopters again – a puzzle”, School Science Review, settembre 1975

-A. Ward : “Researching and developing paper helicopters again – a puzzle”, School Science Review, dicembre 1979

-A. Ward : “Thoughts on using some model ‘helicopters’”, School Science Review, dicembre 1985

-N. Shelton : “Exploring air resistance with paper helicopters”, School Science Review, settembre 1986

-K. Barber – C. Sweeney : “A statistical analysis of paper helicopters”, School Science Review, settembre 1989

Sitografia

<http://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/>

http://www.exploratorium.edu/science_explorer/roto-copter.html

http://www.exploratorium.edu/science_explorer/hoopsters.html

http://www.primaryscience.ie/site/media/pdfs/bw/paper_helicopters.pdf

<http://www.stanford.edu/group/henrysplace/Activities/win/Helicopter1.doc>

<http://www.statease.com/news/news0409.pdf>

<http://www.users.bigpond.net.au/mechtoys/helicopter.html>

<http://www.simplyscience.com/pdf/helicopter.pdf>

GIRA ... CON GLI OCCHI ALBERTI

Dal laboratorio sulle giostre

- Sistemazione dei dati raccolti dai gruppi
- Rielaborazioni e Riflessioni
- Percorsi e spunti didattici per i diversi livelli scolastici
- Approfondimenti

AIF-ISS 16 aprile 2008
Federica Motta-Laura Francesio

PERCHE' CI DIVERTIAMO SULLE GIOSTRE?

- Perché proviamo emozioni e percepiamo sensazioni diverse (per tipo o per intensità) da quelle ordinarie.
- Ma soprattutto perché non ne è evidente la causa.....

2

Abbiamo fatto osservazioni ed esperimenti di

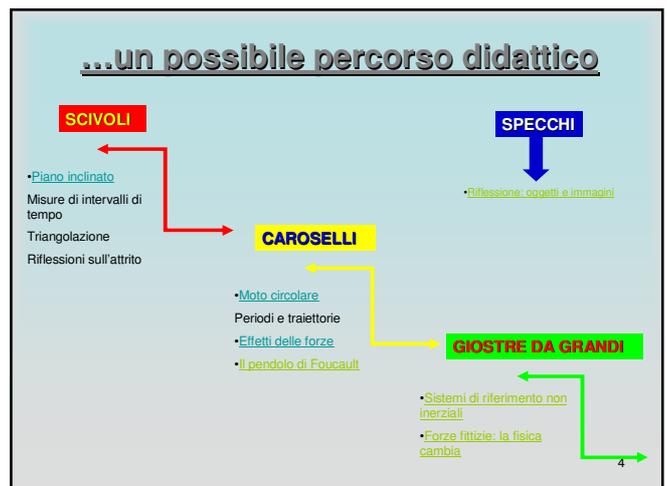
cinematica

dinamica

ottica

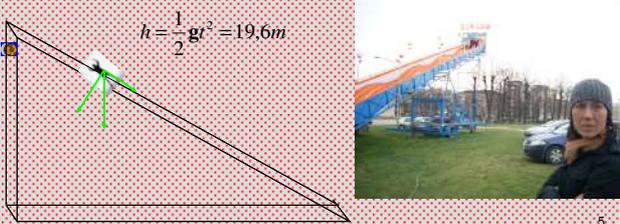
Proviamo a riordinare le idee seguendo....

3



MISURE DI INTERVALLI DI TEMPO

- Misurate il tempo di caduta di un corpo dalla sommità dello scivolo (t1) e misurate il tempo che uno di voi impiega a scendere scivolando sul piano inclinato. (t2)
- Che incertezze è ragionevole assegnare alle misure di t1 e t2 ?
- $t_1 = (2,0 \pm 0,5) \text{ s}$ tempo di caduta della palla
- $t_2 = (8,9 \pm 0,5) \text{ s}$ tempo di "caduta" della Paola



5

TRIANGOLAZIONE

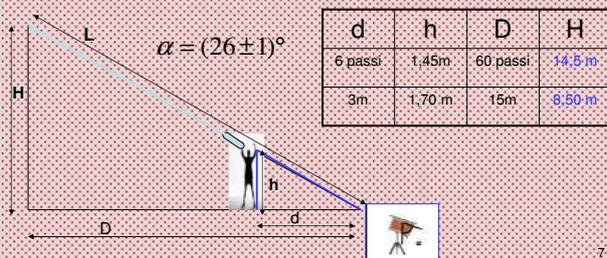
- Stimate l'altezza h della sommità dello scivolo, utilizzando il "cannocchiale". E' necessario essere in tre che operano contemporaneamente.
- Un osservatore, guardi all'interno del cannocchiale e fissi un punto sulla sommità dello scivolo.
- Un altro prolunghi fino a terra, con l'aiuto del filo, la direzione indicata dal cannocchiale.
- Un terzo misuri (stimati a passi), la distanza dalla base dello scivolo al punto in cui il filo tocca terra (D) e la distanza da questo punto ai piedi dell'osservatore (d).



Che incertezze è ragionevole assegnare alle misure di D e d ? $0,5 \text{ m}$
 Conoscendo l'altezza dell'osservatore, in che modo si può stimare l'altezza dello scivolo?

Triangoli simili

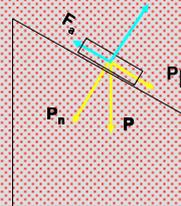
$$d : h = D : H$$



7

RIFLESSIONI SULLA FORZA D'ATTRITO

PERCHE' LA DISCESA DALLO SCIVOLO E' PIU' DIVERTENTE QUANDO CI SEDIAMO SUI TAPPETINI?



Osseva bene come sono posizionati i vettori sul piano inclinato. Se la persona si mette in moto, esiste una forza che ne provoca lo spostamento. Questa forza è la componente del peso $P_{||}$ parallela al piano. Esiste anche una forza nella stessa direzione, ma in verso opposto, una forza che si oppone al movimento, LA FORZA D'ATTRITO.

I tappetini riducono la forza d'attrito.

$$F_a < P_{\text{parallela}} = P \frac{H}{L}$$

Che cosa pensate che i vostri alunni possano imparare da questa attività?

	SCIVOLI
Inferizie	Gare sul piano inclinato
Primaria	Triangoli simili Attrito
Primo grado	Proporzionalità diretta, misure di angoli Intervalli di tempo Confronto tra caduta verticale e sul piano inclinato
Secondo grado	Forza d'attrito Scomposizione vettoriale delle forze



MISURA DELLA CIRCONFERENZA

Misurate la circonferenza della giostra direttamente usando il gomito e il metro.

Che valori avete trovato?

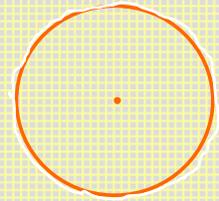
$C_1 = 21,45 \text{ m}$ $C_2 = 21,4 \text{ m}$

Quale incertezza è ragionevole associare alla misura effettuata?

La corda è molto elastica quindi l'incertezza è notevole

$DC = 0,5 \text{ m}$ $IP = 2,3\%$

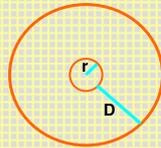
$C = (21,5 \pm 0,5) \text{ m}$



10

MISURA DEL RAGGIO DELLA GIOSTRA

- Uno di voi salga sulla giostra e misuri il suo raggio.
- Descrivete gli accorgimenti che prendete per misurare il raggio.
- *A causa del piantone centrale non è possibile raggiungere fisicamente il centro geometrico della giostra, quindi bisogna misurare la circonferenza del piantone, dedurre il raggio e sommarlo a quello della corona circolare*
- $R = r + D$
- Che valori avete trovato?
- $R_1 = 3,48 \text{ m}$ $R_2 = 3,51 \text{ m}$
- Quale incertezza è ragionevole associare alla misura effettuata?
- $\Delta R = 0,1 \text{ m}$ $IP = 2,9\%$
- $R = (3,5 \pm 0,1) \text{ m}$



11

•Calcolo di π

$$\bullet C = (21,5 \pm 0,5) \text{ m} \quad \bullet R = (3,5 \pm 0,1) \text{ m}$$

$$\pi = \frac{21,5 \text{ m}}{2 \cdot 3,5 \text{ m}} = 3,07$$

$$\Delta \pi = \left(\frac{0,5 \text{ m}}{21,5 \text{ m}} + \frac{0,1 \text{ m}}{3,5 \text{ m}} \right) \cdot 3,07 = 0,16$$

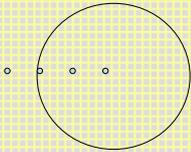
$$\pi = 3,1 \pm 0,2$$

12

MISURA DEL PERIODO

Che valori avete trovato?

- Posizionatevi in tre, muniti ciascuno di cronometro, uno giù dalla giostra, uno sulla giostra all'esterno e uno sulla giostra più all'interno.
- Descrivete tutte le operazioni che scegliete di fare e gli accorgimenti che prendete per misurare il periodo di rotazione.
- Fissiamo un riferimento comune esterno alla giostra, il lampione. Ci posizioniamo nei punti indicati e ripetiamo le misure due volte.



	Gruppo 1	Gruppo 2	Gruppo 3	Gruppo 4
	T(s)	T(s)	T(s)	T(s)
Sulla giostra: circonferenza più interna	14,82 15,21			
Sulla giostra: circonferenza a metà	15,70 15,74	15,48	19,74 (1° giro) 16,49 (2° giro) 15,96 (3° giro)	16,18 16,25
Sulla giostra: circonferenza più esterna	15,40 15,47	15,47		
Giù dalla giostra	15,65	18,50 (1° giro)	15,27 (2° giro) 16,09 (3° giro) 15,86 (4° giro)	
		33,8 (2 giri) 15,3 (2° giro)		
		48,41 (3 giri) 14,6 (3° giro)		
		62,8 (4 giri) 14,4 (4° giro)		

13

Quale incertezza è ragionevole associare alla misura effettuata?

$$T_{\text{medio}} = \frac{\sum_{i=1}^{19} T_i}{19} = 15,45s$$

$$\Delta T = \frac{T_{\text{max}} - T_{\text{min}}}{2} = \frac{16,49s - 14,40s}{2} = 1,045s$$

$$T_{\text{medio}} \pm \Delta T = 15s \pm 1s$$

È uguale misurare il periodo del primo giro, di un giro intermedio o dell'ultimo giro?

Dopo il primo giro il periodo si mantiene costante fino all'ultimo giro, quindi il primo e l'ultimo giro hanno un periodo più lungo.

$$T_1 = 18,50s \text{ (1° giro)} \quad T_2 = 19,74s \text{ (1° giro)}$$

14

RAPPRESENTAZIONE DELLA TRAIETTORIA

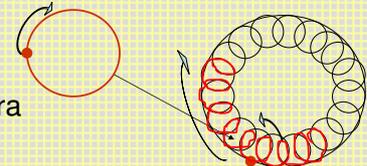
Potete osservare una mongolfiera che ruota rispetto alla giostra

Disegnate la traiettoria percorsa da un pallino della mongolfiera



15

- stando nella mongolfiera
- Fermo
- stando sulla giostra fuori dalla mongolfiera
- Circolare
- stando a terra
- Epicicloide

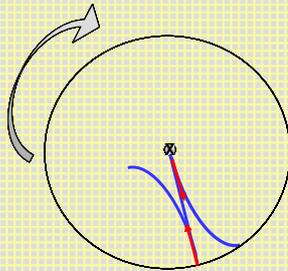


16

FORZA DI CORIOLIS

- Posizionate la striscia di carta lungo il raggio della giostra e la carta carbone sopra. Distinguetene con un segno le due estremità.
- Mettetevi in due alle estremità e, quando la giostra è a velocità di regime, lanciatevi la biglia, diritta, nell'uno e nell'altro verso.
- Annotate poi il senso di rotazione della giostra e il verso (interno-esterno) di percorrenza della traiettoria lasciata dalla pallina.

Come si può descrivere tale traiettoria?

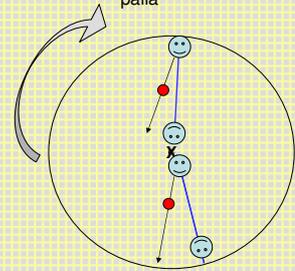


$$F_c = -2\omega \times v$$

LANCIATEVI LA PALLA

- Riuscite a prenderla?
- **NO**
- *Si ma spostandoci sempre verso la nostra destra*
- Come dovete modificare la direzione di lancio?
- *Più a destra se la giostra gira in senso orario*
- *La palla deve essere lanciata verso la destra di chi lancia*
- *La palla è soggetta ad una forza che la devia dalla congiungente i due giocatori.*

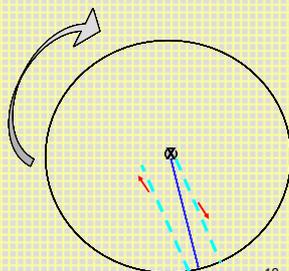
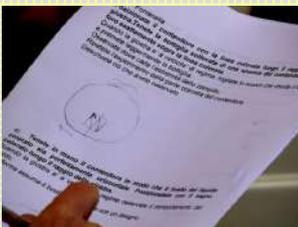
Fate uno schema di come dovete lanciare per afferrare la palla



18

FONTANELLA

- Posizionate il contenitore con la linea lungo il raggio della giostra. Bucate con lo spillo in corrispondenza del pallino nero. Tenete la bottiglia sollevata di una spanna dal contenitore e il foro esattamente sopra la linea colorata.
- Quando la giostra è a velocità di regime, premete leggermente la bottiglia.
- Osservate dove cade l'estremità dello zampillo.
- Ripetete l'esperimento dalla parte opposta del contenitore.
- Descrivete ciò che avete osservato



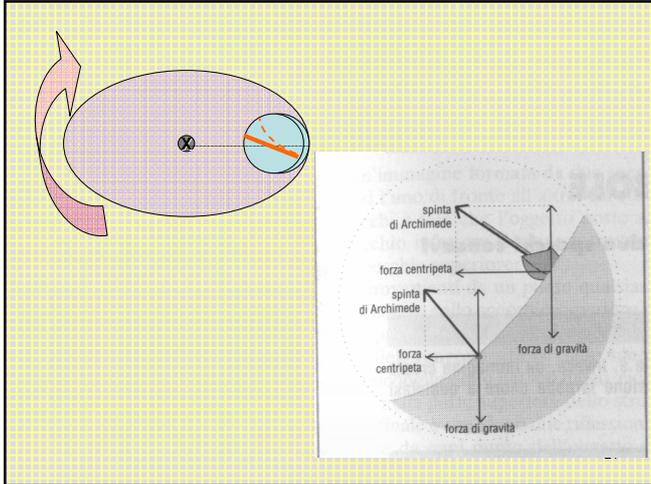
19

ACCELEROSCOPIO

- Tenete in mano il contenitore in modo che il livello del liquido colorato sia perfettamente orizzontale. Posizionate lo lungo il raggio della giostra.
- Quando la giostra è a velocità di regime osservate il comportamento del liquido.
- Che forma assume il livello? Descrivete con un disegno.

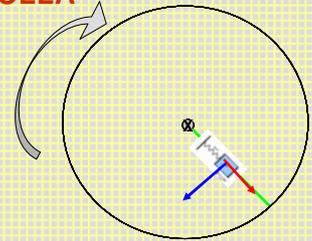


20



SISTEMA MASSA-MOLLA

- Tieni ferma la molla ad una estremità puntando la matita all'interno di un gancio.
- Osserva la macchinina fissata all'altra estremità della molla.
- Descrivi che cosa succede quando la giostra è a velocità di regime.



La molla si allunga nella direzione del raggio della giostra verso l'esterno

$$\vec{F} = -m\vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r})$$



PENDOLO DI FOUCAULT

Appendete il pendolo alle manopole dei cavalli e controllate che l'oscillazione avvenga lungo il raggio della giostra. Posizionate e fermate con lo scotch il cartoncino sotto al pendolo. Prima che la giostra parta bucate con la punta di una matita il sacchettino in corrispondenza del segno colorato e fatelo oscillare. **Osservate e fotografate la traccia della farina sul cartoncino per almeno un giro completo. Che forma ha la traccia della farina?**



Un po' di conti....

$$L_{pendolo} = (0,45 \pm 0,05)m$$

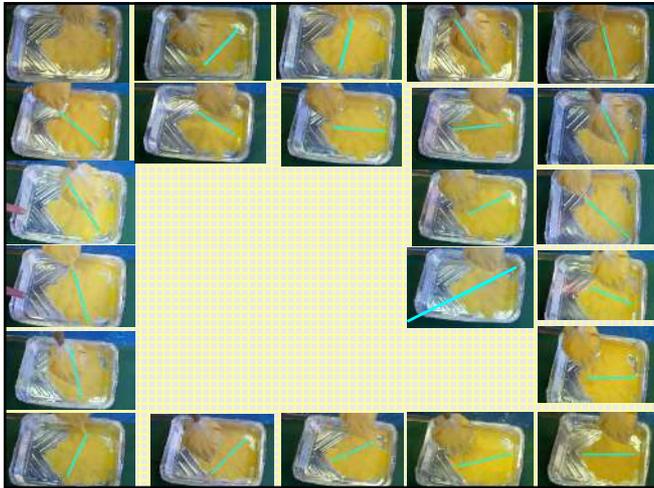
$$T_{pendolo} = 2\pi \sqrt{\frac{L_{pendolo}}{g}} \cong 1,35s$$

$$T_{giostra} = (15 \pm 1)s$$

$$N_{\frac{oscillazioni}{giro}} = \frac{T_{giostra}}{T_{pendolo}} \cong 11 \frac{oscillazioni}{giro}$$

Verifica sperimentale....





Tgiora=N*Tpendolo

Variando opportunamente la lunghezza del pendolo si ottiene una stella con un fissato numero di punte.

N oscillazioni= 2N punte della stella

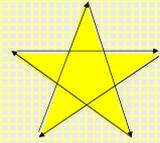
Es. per una stella a cinque punte:

N=2,5 che significa, per queste giostre,

Tpendolo ≈6s,

cioè

L≈9 m !!!!!



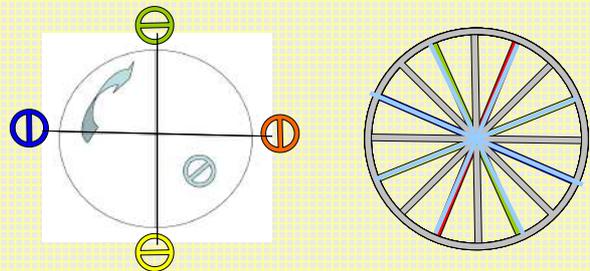
Per la prossima volta...

2N	N	Tg(s)	Tp(s)	L(m)
8	4	16	4	4
12	6	15	2,5	1,5
16	8	16	2	1

.....Da un altro punto di vista



- Quando l'osservatore su ed un osservatore giù si incrociano, entrambi segnano, con il pennarello, la direzione di oscillazione del pendolo sul proprio goniometro.
- Dopo un giro completo, si confrontano i goniometri.
- L'osservatore su e quelli giù hanno visto la stessa direzione?
- Come potete descrivere e sintetizzare i vari punti di vista?



Che cosa pensate che i vostri alunni possano imparare da questa attività?

	CAROSCELLI
Infanzia	giro della giostra con il gomito, fenomeno periodico
Primaria	lunghezza di una linea curva , concetto di angolo spazzato , angolo giro
Primo grado	stima di pi greco , i concetti di moto circolare e traiettoria con forme diverse , circolare, circolare composta, analogia Terra-Luna. SR e punto di vista
Secondo grado	incertezza a una misura indiretta, concetto di velocità angolare , analisi del MCU , Periodo di rotazione e di oscillazione. Moto relativo al SR e all'O.



SUGGERIMENTI OPERATIVI

- Giostrine a mano, scivoli, ci sono in tutte le scuole per l'infanzia.
- Un vecchio giradischi può riprodurre il moto della giostra in scala ridotta.
- Una giostra carillon simula i mini seggiolini.
- Piste per macchinine o trenini riproducono traiettorie curvilinee.
- Specchi grandi nei bagni o negli armadi.

30

VERTICALITA'

	SCIVOLI	CAROSCELLI	GIOSTRE DA GRANDI	SPECCHI
Infanzia	Gare sul piano inclinato	giro della giostra con il gomito, fenomeno periodico		Osservazione e verbalizzazione della differenza tra immagine e oggetto
Primaria	Triangoli misure di angoli Attrito	lunghezza di una linea curva , concetto di angolo spazzato , angolo giro	Descrizione delle sensazioni provate e del movimento	Osservazione e riproduzione di immagini di specchi piani. Descrizione delle varie deformazioni.
Primo grado	Proporzionalità diretta, misure di angoli Intervallo di tempo Confronto tra caduta verticale e sul piano inclinato	stima di pi greco , i concetti di moto circolare e traiettoria con forme diverse , circolare, circolare composta, analogia Terra-Luna. SR e punto di vista	Considerazioni sulle forze e l'equilibrio Concetto di energia potenziale e cinetica.	Concetto di ingrandimento. Modello di raggio di luce. Applicazioni alla geometria.
Secondo grado	Forza d'attrito Scomposizione vettoriale delle forze	incertezza a una misura indiretta, concetto di velocità angolare , analisi del MCU , Periodo di rotazione e di oscillazione. Moto relativo al SR e all'O.	Biennio: Scomposizione forze, principio di conservazione dell'energia. Triennio: sdr non inerziali, moti curvilinei Piccole e grandi oscillazioni	Costruzione grafica di immagini reali e virtuali. Legge dei punti coniugati.

31

ARRIVEDERCI AL PROSSIMO ANNO SCOLASTICO!

PER APPROFONDIRE INSIEME COME

- *si filma un moto*
- *si elaborano le immagini*
- *si coinvolgono gli alunni*
- *e come...*

32

.....FAR RESTARE

QUANTO FATTO

NEL CUORE E NELLA MENTE

AIF-ISS Mantova 2007/2008





L' ultima scheda del fascicolo invitava, una volta saliti sulle giostre più impegnative, dove portare strumenti è certamente complicato e a volte pericoloso, a **concentrarsi sulle sensazioni e provare a descriverle.**

Perché sono giostre "da grandi"?

- *Perché velocità, accelerazioni e forze in questione hanno moduli maggiori, le sollecitazioni sono conseguenti e c'è oggettivamente un maggiore pericolo.*

2

OSSERVAZIONI E PERCEZIONI

- variazioni del peso
- percezioni differenziate su varie parti del corpo
- movimenti imprevisti di appendici come capelli e sciarpe
- livello dell'acceleroscopio in continuo cambiamento.

3

**nessuno ci spinge, ci tira, ci solleva,
eppure**

- il nostro stomaco è sollecitato,
- il cappello vola via,
- i fianchi premono contro la sponda,
- il nostro peso sembra aumentare,
- la catena del seggiolino si mette obliqua.

4

In conclusione
queste sensazioni
sono dovute a
forze **non** attribuibili ad azioni
di qualcuno o di qualcosa.

5

Usando un linguaggio suggestivo,
queste forze vengono dette fittizie.

Ciò che ci fa
divertire, emozionare, impaurire
è la presenza di forze fittizie.

6

Ma qual è la causa delle forze fittizie?

7

Le forze fittizie esistono perché siamo in un sistema di **riferimento accelerato.**

8

I calcoli cinematici, nel passaggio da un sistema di riferimento in quiete (la Terra) a uno in moto accelerato (la giostra) **producono questi nuovi termini.**

9

- I calcoli sono molto complessi.
- Soprattutto non è possibile affrontarli senza il calcolo differenziale e vettoriale.
- Non li si propongono in questa sede perché non se ne vede possibilità di utilizzo con gli alunni nemmeno in un triennio superiore.

10

Ma che cos'è un sistema di riferimento?

11

- Per fornire una posizione nello spazio servono un punto e tre rette orientate, perpendicolari tra loro, passanti per il punto stesso.
- Il punto è detto origine (O), le rette assi cartesiani (XYZ).
- Deve essere inoltre scelta un'unità di misura uguale per i tre assi.
- Origine, assi e unità formano il **SISTEMA DI RIFERIMENTO**

12

Un punto P è identificato da tre coordinate che rappresentano ciascuna la sua proiezione ortogonale su un asse cartesiano.

13

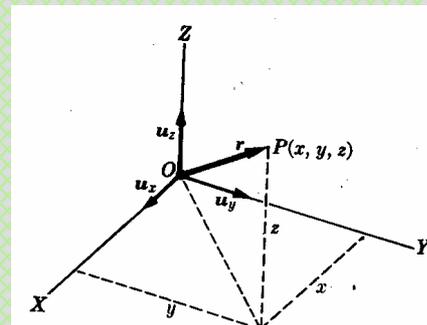


Fig. 3-18. The position vector.

14

- Di fatto noi ci limitiamo a moti in due dimensioni, quindi con due sole coordinate.

15

- Nessuno avrà difficoltà ad accettare che esista un sistema di riferimento in quiete, cioè immobile, fermo.
- In realtà questa accettazione non è così ovvia, ma omettiamo qui la discussione sulla sua esistenza.

16

Per le nostre osservazioni, la Terra si può considerare **in quiete** e una persona ferma sulla Terra altrettanto.

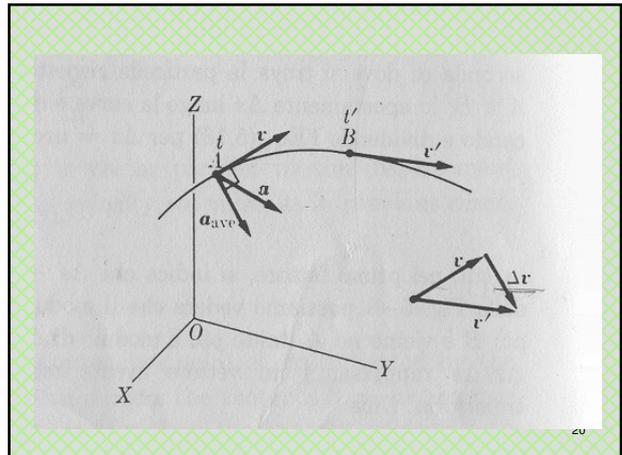
17

Un **altro** sistema di riferimento che si muove rispetto alla Terra e con velocità **variabile** si dice **accelerato**.

18

- Un sdr è accelerato se la velocità cambia **in direzione e/o in modulo e/o in verso.**
- **Se cambia anche solo la sua direzione, il vettore velocità cambia, quindi il moto è accelerato.**

19



- Vediamo ora in dettaglio le schede di tre giostre esemplari.
- L'approccio sperimentale è, in questa sede, simulato, ma può essere utilizzato alla prossima occasione.

21

MINI SEGGIOLINI

Giostra volante di formato ridotto



22

Osserva la giostra mentre inizia a ruotare. Che cosa succede?

- *Le catene dei seggiolini da verticali si spostano in direzione obliqua.*
- *Man mano il modulo della velocità della giostra aumenta, aumenta anche l'angolo di distacco dalla verticale. Quando la velocità si stabilizza, lo fa anche l'angolo. Viceversa quando la giostra frena, anche l'angolo si riduce fino a tornare nullo.*

23

- Seggiolini occupati e seggiolini vuoti si comportano diversamente?
- *No, l'angolo è uguale per tutti.*

24

Sali sulla giostra, chiudi gli occhi, e aspetta che parta. Che cosa provi?

- *Mi sento spinto lontano dal centro e chiamo questo effetto forza centrifuga*

25

A quale causa attribui questo fenomeno quando eri a Terra?

- *La tensione del cavo non è sufficiente a trattenere i seggiolini aderenti alla verticale.*

26

La tensione non è quindi abbastanza intensa?

- *No, non è nella direzione esatta.*

27

• APPROFONDIMENTO TEORICO

- A riposo, la tensione della catena equilibra il peso del seggiolino col suo eventuale occupante. La direzione della tensione è quindi verticale e la sua intensità si adatta al peso che deve sostenere fino ad un valore massimo, dopo il quale si spezza.

28

- In rotazione la tensione assume la direzione obliqua della catena e solo la sua componente verticale T_V serve a equilibrare il peso P .
- La componente orizzontale T_O , invece, **funge** da forza centripeta F_C .

29

- Infatti se un corpo compie una traiettoria circolare, la velocità, seppur costante in modulo, varia in direzione.
- Quindi, in complesso, **la velocità varia.**

30

- La variazione della velocità implica l'esistenza di un'**accelerazione** e per la seconda legge di Newton, $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$, la necessità di una forza per mantenere la traiettoria circolare.

31

Si può dimostrare che la forza è **diretta verso il centro**

$$\vec{F} = m\vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r})$$

della circonferenza, da cui il nome. Il suo modulo vale

$$F_C = m\omega^2 r,$$

- dove m è la massa appesa,
- r il raggio della giostra e
- ω il modulo della velocità angolare.

32

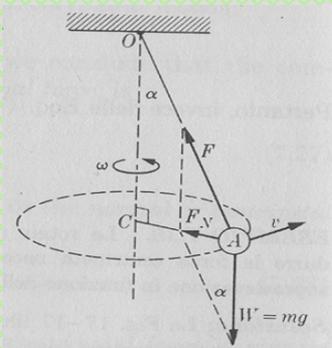
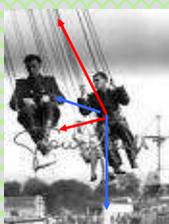
- La velocità angolare ω rappresenta l'**angolo** spazzato **in un secondo** dal raggio che ruota.
- Tutti i punti dello stesso raggio hanno la **stessa** velocità angolare, pur avendo velocità lineari **diverse** in quanto, nello stesso tempo, percorrono archi diversi.

Misura del periodo di rotazione

33

Disegnando in scala le due componenti della tensione T_O e T_V si ottengono i cateti di un triangolo il cui angolo al vertice è quello da noi cercato.

34



N.B. la "giostra" dello schema gira in senso antiorario mentre quella della foto gira in senso orario.

Il vettore ω ha quindi verso opposto.

$$\vec{F} = m\vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r})$$

Si capisce così perché quando aumenta la sola velocità angolare, quindi solo T_O , aumenta anche l'angolo.

36

- E'ovvio che con l'aiuto della trigonometria si possono fare calcoli analitici
- ma la soluzione grafica, a questo livello, è esaustiva.

$$\alpha = \arctg \frac{T_o}{T_v}$$

37

Infine perché, se F_c dipende dalla massa, α ne è indipendente?

- La variazione di massa fa variare in modo proporzionale entrambi i cateti del triangolo.
- Il "nuovo" triangolo è simile al "vecchio", in particolare hanno gli angoli uguali.

38

- Finora abbiamo descritto il moto stando a Terra, cioè nel sistema di riferimento in quiete.
- Vediamo ora le cose dal sistema di riferimento accelerato, cioè quello che ha come origine il ragazzo sul seggiolino.

39

- Nel suo sistema di riferimento, il ragazzo sulla giostra deve essere fermo.
- Quindi deve essere sottoposto a forze a risultante nulla.
- Le forze già esaminate hanno una risultante non nulla.
- Allora deve esistere una forza fittizia che funga da equilibrante.
- Deve essere opposta alla risultante centripeta.

40

Si tratta della forza centrifuga

$$\vec{F} = -m\vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r})$$

- Fittizia
- Radiale
- Verso l'esterno
- Con modulo $F_c = m\omega^2 r$

41



42

- Stando a terra osserva la nave pirata in azione e prova a descrivere qualitativamente la sua traiettoria e la sua velocità.
- *La traiettoria è un arco di circonferenza, quasi una semicirconferenza. La velocità è zero agli estremi superiori, è massima nel punto più basso. Quindi aumenta, diminuisce, si annulla, cambia verso, aumenta, diminuisce, si annulla.*

43

- Si può considerare un grosso pendolo?
- *Sì, come traiettoria e velocità.*
- *No per la causa del moto. Il pendolo infatti agisce per effetto della gravità e della tensione del filo. La nave invece è regolata da un motore perché deve essere tenuta sotto controllo.*

44

- Sono allora valide tutte le proprietà del pendolo che conosci (isocronismo...)?
- *No queste non sono piccole oscillazioni: si arriva quasi ad una semicirconferenza.*

45

- Sali sulla giostra, chiudi gli occhi, e aspetta che parta. Che cosa provi?
- *Mi sento più leggero in fase di discesa e più pesante in fase di salita. Inoltre mi sento spinto verso il pavimento della nave.*

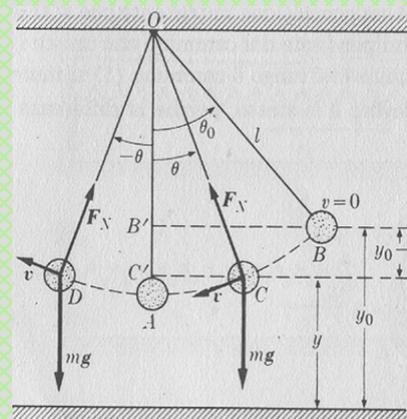


46

APPROFONDIMENTO TEORICO

- A riposo, la reazione vincolare del pavimento della nave equilibra il peso della persona.
- La direzione della reazione vincolare è quindi verticale e la sua intensità si adatta al peso della persona.
- In oscillazione la reazione vincolare assume la direzione obliqua della sbarra di sostegno e viene solo in parte equilibrata dalla componente radiale del peso P .
- Infatti affinché un corpo compia una traiettoria circolare, è necessaria una forza centripeta, che è appunto la parte non equilibrata.

47



48

- Diversamente dalla giostra precedente, però, qui anche il modulo della velocità cambia.
- Avremo quindi una componente tangenziale della forza.
- Essa è applicata dal motore della giostra stessa.

49

- Il ragazzo sulla giostra è fermo nel suo Sistema di Riferimento: la Risultante deve quindi essere zero.
- Allora devono esistere una forza fittizia opposta alla centripeta
- e un'altra opposta alla tangenziale che portino all'equilibrio.

$$\vec{F} = -m \vec{\omega} \times \vec{r}$$

$$\vec{F} = -m \vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r})$$

50

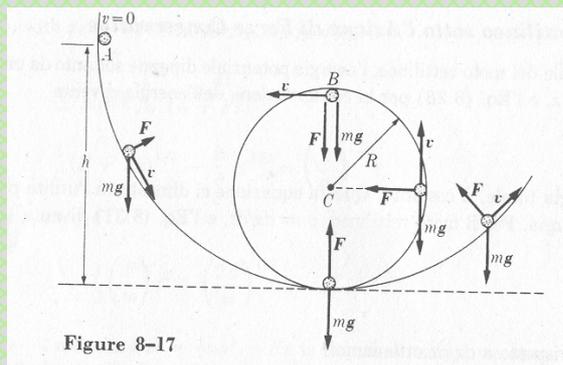


Figure 8-17

51



52

- In quali tratti significativi si può suddividere la traiettoria?



- Salite e discese rettilinee, archi di circonferenza più o meno completa.

53

- Il moto sull'8 volante da che cosa è causato?
- Solo nella prima parte c'è un motore che porta il vagone su fino al punto di massima quota. Poi sono la forza di gravità ed il forte vincolo alla rotaia che compiono il lavoro di proseguire il percorso. Alla fine un sistema frenante magnetico pone fine al moto.

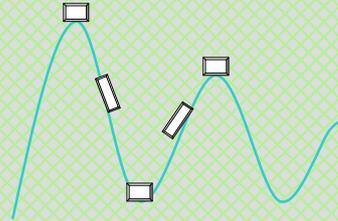
54

- Quali forme di energia riconosci?
- Energia **cinetica** crescente con la velocità, energia **potenziale** gravitazionale crescente con la quota.

55

Perché ogni montagna è sempre più bassa della precedente?

Perché una parte dell'energia viene dissipata in lavoro della **forza d'attrito**



56

C'è un legame tra velocità e quota?

In alto ci sono dei punti in cui si sta praticamente fermi.

Man mano che si scende la velocità aumenta, tanto che alla fine ci vuole un intervento esterno per terminare la corsa.

57

- Sali sulla giostra, chiudi gli occhi, e aspetta che parta. Che cosa provi?
- *Nelle parti curvilinee la situazione è analoga a quanto già descritto sulle giostre circolari (forza centrifuga).*
- *Nelle parti in discesa mi sento spinto all'indietro, in quelle in salita in avanti come già descritto sugli scivoli.*

58

APPROFONDIMENTO TEORICO

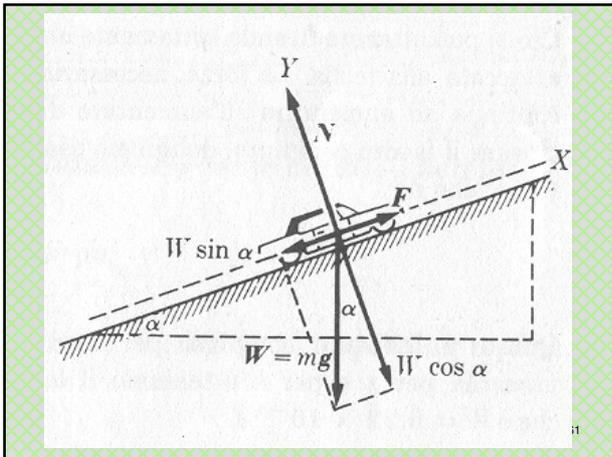
- In piano, la reazione vincolare della rotaia equilibra il peso di persone e vagoncino.
- La direzione della reazione vincolare è quindi verticale e la sua intensità si adatta al peso totale

59

- In discesa invece la reazione vincolare resta **perpendicolare al piano**, quindi equilibra solo una componente del peso stesso.
- L'altra, quella lungo il piano inclinato, resta non equilibrata e causa un moto **uniformemente accelerato** con

$$a = g \frac{h}{l}$$

Scivoli
Moto sul piano
inclinato 60



- Nel suo sistema di riferimento, il ragazzo sulla giostra deve essere fermo.
- Quindi deve essere sottoposto a forze a risultante nulla.
- Le forze già esaminate hanno una risultante non nulla: la componente del peso lungo il piano inclinato.
- Allora deve esistere una forza fittizia che funga da equilibrante.
- Deve essere opposta alla risultante.

$$F = -mg \frac{h}{l}$$

Riassumiamo: le forze fittizie

centrifuga	Coriolis	rettilinea	tangenziale
$\vec{F} = -m\vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r})$	$\vec{F} = -2m\vec{\omega} \times \vec{v}$	$\vec{F} = -m\vec{g} \frac{h}{l}$ $\vec{F} = -m\vec{a}_a$	$\vec{F} = -m\vec{\omega} \times \vec{r}$
Moti circolari	Moti rettilinei in sistemi di riferimento in moto circolare	Sistemi di riferimento in moto rettilineo accelerato	sistemi di riferimento in moto curvilineo a velocità variabile in modulo

Che cosa pensate che i vostri alunni possano imparare da questa attività?

	GIOSTRE DA GRANDI
<u>Infanzia</u>	
<u>Primaria</u>	Descrizione delle sensazioni provate e del movimento
<u>Primo grado</u>	Considerazioni sulle forze e l'equilibrio Concetto di energia potenziale e cinetica.
<u>Secondo grado</u>	Biennio: Scomposizione forze, principio di conservazione dell'energia. Triennio: sdr non inerziali, moti curvilinei Piccole e grandi oscillazioni

ATTRAZIONI CON GLI SPECCHI



PERCHE' CI SI DIVERTE SULLE
GIOSTRE CON GLI SPECCHI?

2

Perché la nostra percezione visiva è alterata:

- i corpi si deformano,
- le proporzioni vengono modificate,
- non si distingue la realtà dalla sua immagine

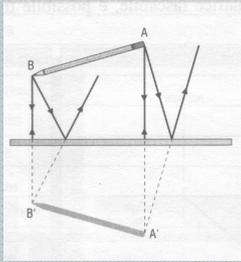
3

• Mettetevi davanti ad uno specchio piano ed osservate la vostra immagine.

- E' uguale al vostro corpo? **si**
- Ha le stesse dimensioni? **si**
- E' capovolta? **no**
- A che distanza oltre lo specchio pare trovarsi? **uguale**

4

- Avvicinatevi allo specchio.
- Che cosa fa l'immagine?
- **Si avvicina, ma non cambia**



5

- Stando fermi avvicinate la punta del dito allo specchio.
- Che cosa fa l'immagine?
- **si avvicina, quindi si muove in verso opposto**
- Fate un pugno con la mano destra e ruotatelo in senso antiorario.
- Come ruota l'immagine?
- **Sempre in senso antiorario**

6

APPROFONDIMENTO

I due comportamenti ricordano la differenza tra vettori polari e vettori assiali

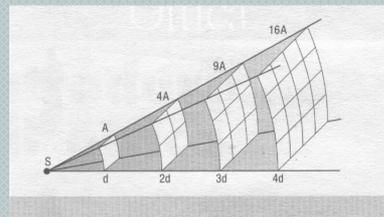
Ad esempio

la quantità di moto è polare

il campo magnetico è assiale.

7

- Osservate lo specchio.
- Che porzione di spazio circostante si vede nello specchio?



8

- **Uno specchio è anch'esso un oggetto di cui si vede l'immagine in un altro specchio.**
- Provate a verificarlo.
- **L'immagine a sua volta si specchia, dando origine ad un'altra immagine, che a sua volta si specchia e ne produce un'altra...**
- Provate a trovare regolarità in questo fenomeno.

9

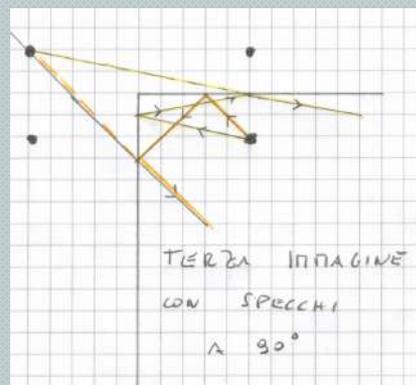
- *In particolare se gli specchi sono ad angolo retto, ho tre immagini.*
- *Se l'angolo è di 60° (caleidoscopio) ho cinque immagini*
- *Se l'angolo è α° il numero delle immagini è*

$$N = \frac{360^\circ}{\alpha^\circ} - 1$$

10



11



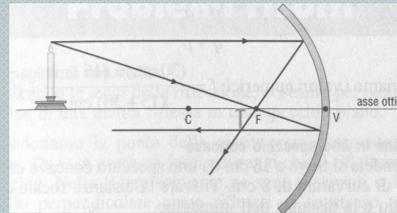
12

- Cercate l'uscita del labirinto.
- Perché è così difficile?

• **Perché è difficile distinguere la realtà (gli oggetti) dalle loro immagini**

13

- Mettetevi ora davanti ad uno specchio concavo (come l'interno di un cucchiaio) e ripetete alcune osservazioni, confrontandole con quelle ottenute per lo specchio piano.



14

L'immagine ha le stesse dimensioni del vostro corpo?

- **No, è rimpicciolita**
- E' deformata? Come?
- **In modo diverso nei vari punti**
- E' capovolta? **Sì**
- A che distanza dallo specchio pare trovarsi?
- **Davanti allo specchio (?) più vicina**

15

- Avvicinatevi allo specchio.

- Che cosa fa l'immagine?
Resta più piccola dell'oggetto, ma si ingrandisce e si allontana.
- **Fino a che l'immagine oltrepassa lo specchio, si raddrizza. E' più grande dell'oggetto, ma, man mano che mi avvicino, si avvicina e diventa più piccolo.**

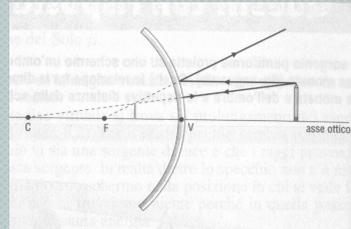
16

- Che porzione di spazio circostante si vede nello specchio?

- **La stimo minore di quella dello specchio piano**

17

- Mettetevi ora davanti ad uno specchio convesso (come un cucchiaio rovesciato) e ripetete alcune osservazioni, confrontandole con quelle ottenute per lo specchio piano.



18

L'immagine ha le stesse dimensioni del vostro corpo?

- **No, è rimpicciolita**

- E' deformata? Come?

- **In modo diverso nei vari punti**

- E' capovolta? **No**

- A che distanza dallo specchio pare trovarsi?

- **Dietro allo specchio più vicina**

19

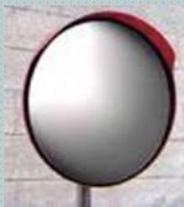
- **Avvicinatevi allo specchio.**

- Che cosa fa l'immagine?

- **Si ingrandisce, pur restando più piccola dell'oggetto, ma si allontana.**

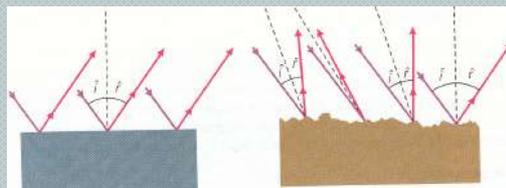
20

- Che porzione di spazio circostante si vede nello specchio?
- **La stimo maggiore di quella dello specchio piano**



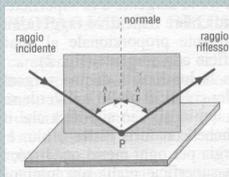
21

- **Certi specchi sono in parte concavi e in parte convessi.**
- Cercate di sintetizzare le caratteristiche delle immagini.



22

- **Tutta la costruzione delle immagini si basa su raggi di luce che incidono sullo specchio e vengono riflessi.**
- Provate ora a seguire un raggio, emesso da un puntatore laser.
- La luce si vede?
- E se spruzzate un po' di borotalco nell'aria?
- Descrivete il percorso del raggio di luce.



23

Che cosa pensate che i vostri alunni possano imparare da questa attività?

SPECCHI	
<i>Infanzia</i>	Osservazione e verbalizzazione della differenza tra immagine e oggetto
<i>Primaria</i>	Osservazione e riproduzione di immagini di specchi piani. Descrizione delle varie deformazioni.
<i>Primo grado</i>	Concetto di ingrandimento. Modello di raggio di luce. Applicazioni alla geometria.
<i>Secondo grado</i>	Costruzione grafica di immagini reali e virtuali. Legge dei punti coniugati.



